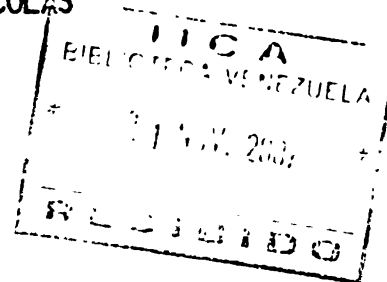


INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS

ZONA ANDINA



CURSOS SOBRE

OPERACION CONSERVACION Y DESARROLLO

DE SISTEMAS DE RIEGO

TEMA GENERAL:

- I.- RELACION "AGUA-SUELO-PLANTA"
- II.- EVAPOTRANSPIRACION, USO CONSULTIVO Y REQUERIMIENTO DE RIEGO.
- III.- LAMINA E INTERVALOS DE RIEGO-CURVAS DE DEMANDA

MATERIAL BASICO Y COMPLEMENTARIO DE TRABAJO

PROF: Ing. Jorge A. Luque

00000264

~~00000265~~

## INTRODUCCION

Este cuaderno de temas no constituye en modo alguno un manual técnico ordenado sobre aspectos del Riego, sino tan sólo una recopilación secuencial del material básico de trabajo y taller.

Dicho elemento técnico y de trabajo complementa las exposiciones que se ofrece dentro de los "Cursos Nacionales de Operación, Conservación y Desarrollo de Distritos de Riego".

De aquí que en algunos temas, en el cual se considera necesario dar un mayor énfasis, se ha confeccionado resúmenes de clases, mientras que en otros, sólo se incluye el material gráfico que complementa la explicación ofrecida en el aula.

Asimismo, en la Parte Segunda sobre todo se ha incluido la descripción detallada de la metodología a seguir y tablas de apoyo, para poder aplicar los métodos relativos al tema básico: "Evapotranspiración, Uso Consuntivo y Renuevamiento de Riego".

Para una ampliación de los puntos aquí tratados o mayor abundancia de datos y ejemplos, el participante en el evento deberá recurrir a la bibliografía cuyo detalle se incluye asimismo en este material.

J.A.L.

PLAN GENERAL

PARTE I : RELACION "AGUA - SUELO - PLANTA"

I.A. Resumen de las Relaciones del Agua en el Suelo

1. Agua libre móvil gravitante.
2. Agua libre móvil capilar.
3. Agua libre, practicamente inmóvil.

B. Formas de expresión de la humedad del suelo  
Medidores de humedad

1. Potencial hídrico total y expresiones del contenido de humedad.
2. Medidores de humedad de Suelo.

C. Procedimientos de laboratorio y de campaña  
para la determinación de las constantes hídricas.

1. Procedimientos para la determinación de la capacidad de campo.
2. Procedimientos para la determinación del punto o rango de marchitez.

PARTE II : EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL, USO CONSUNTIVO Y REQUERIMIENTO DE RIEGO.

II.A. Sumario de los Procedimientos más corrientes

1. Procedimientos Experimentales a Campo.
2. Procedimientos basados en datos meteorológicos corrientes.
3. Procedimientos basados en datos de radiación.



- B. Desarrollo de los Procedimientos: tablas y elementos de trabajo
1. Método Thornthwaite de Evapotranspiración Potencial.
  2. La Evapotranspiración Potencial por el Procedimiento de Papadakis.
  3. Cálculo del Uso Consuntivo y Requerimiento de Riego por la Fórmula de Blaney y Criddle.
  4. Procedimientos basados en la Fórmula de Hargreaves.
  5. Procedimiento para hallar la Evapotranspiración por la Fórmula de Turc.
  6. Fórmulas y Métodos de Meyer y Davidov.

PARTE III : PROCEDIMIENTOS PARA EL CÁLCULO DE L/MIN. E INTERVALOS DE RIEGO

CURV/S DE DEMANDA

- A. Procedimientos para el cálculo de espesor de Lámina a aplicar por Riego
1. Fundamentos Primer Método.
  2. Fundamentos Segundo Método.
- B. Desarrollo analítico de los procedimientos.
1. Desarrollo del Procedimiento Edafológico.
  2. Desarrollo del Procedimiento de Uso Consuntivo.

- C. Cuadros y Tablas de apoyo para la aplicación de los procedimientos
  - 1. Factor Suelo.
  - 2. Factor Profundidad media de raíces y de mojado.
  - 3. Factor Eficiencia.
- D. Planteo para la confección de las Curvas de Demanda.

APENDICE :

PAUTAS SECUENCIALES PARA LA OPERACION Y SU  
REORDENAMIENTO DE DISTRITOS DE RIEGO

---

. BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA

**PARTE I : RELACION "AGUA-SUELO-PLANTA"**

**A. Resumen de las relaciones del Agua en el Suelo**

1. Agua libre móvil gravitante.
2. Agua libre móvil capilar.
3. Agua libre, practicamente inmóvil.

**B. Formas de expresión de la humedad del suelo  
Medidores de humedad.**

1. Potencial hídrico total y expresiones del contenido de humedad.
2. Medidores de humedad en el suelo.

**C. Procedimientos de laboratorio y de campaña  
para la determinación de las constantes hídricas.**

1. Procedimientos para la determinación de la capacidad de campo.
2. Procedimientos para la determinación del punto o rango de marchitez, permanente.

## A . RESUMEN DE LAS RELACIONES DEL AGUA EN EL SUELO

Consideradas las diferentes "clases" o "estados" del agua en el suelo, en razón de la tensión con que la misma es retenida por las partículas, cabe establecer suscientamente la siguiente división y sus probables límites:

1.- AGUA LIBRE MOVIL GRAVITANTE.- Que, según diversos autores, es aquella sujeta de un modo general a la acción de la gravedad, por lo que tiende general a "percolar" a través del suelo. Está situada en los canaliculos, espacios e intersticios cuyo diámetro supera los 5,5 micrones.

El límite superior de tensión lo constituiría la constante hídrica conocida como "Capacidad de campo" ( $W_c$ ) cuyo valor puede ser de 0,3 atmósferas o bares de succión ( $W_{0,3b}$ ) en suelos francos normales, alrededor de 0,1 atmósfera o bares ( $W_{0,1b}$ ) para suelos sueltos francamente arenosos y finalmente, de hasta 0,5 atmósferas o bares ( $W_{0,5b}$ ) para suelos arcillosos manifiestamente compactos.

En condiciones naturales del terreno y a partir de este contenido de agua, el suelo drenará el exceso, de aquí que el método "de campaña" se basa en ésta circunstancia.

Recordando el concepto de  $pF$ , es decir, expresada la tensión como la presión ejercida por una columna de agua medida en centímetros e indicada por su logaritmo, correspondería a un valor de  $pF = 2,7$  aproximadamente.

En el otro extremo de esta categoría, hacia la menor tensión, entramos en el campo del "agua libre" que al desplazarse por acción de la gravedad y quedar aprisionada quizás por "hidroapoyos" presentes, crea problemas de "drenaje" que atañen al campo de la ingeniería hidráulica.

2.- AGUA LIBRE MOVIL CAPILAR.- Que es aquella afectada de un modo general por las fuerzas capilares que la desplazan en diversos sentidos y direcciones. Se la sitúa en los canaliculos, poros e intersticios cuyo límite inferior de tensión es el ya mencionado de 5,5 a 5,6 micrones de diámetro y, por el otro lado, alcanza los valores límites correspondientes a un tamaño de 0,2 a 0,4 micrones de diámetro.

Si el valor "tope" superior en contenido de agua e inferior en lo que hace a la tensión era la mencionada, "Capacidad de campo", el otro límite extremo se conoce, dentro de las constantes hídricas como "Punto de Marchitez" permanente ( $W_m$ ) que en verdad adquiere carácter de "rango" de marchitez y posee una tensión que varía corrientemente para la mayoría de los cultivos entre 13 a 15 atmósferas o bares ( $W_{15b}$ ).

El valor de su  $pF$  o expresión logarítmica de la columna de agua (h) en centímetros, es de alrededor de 4,2.

Dentro de estos límites de "agua capilar" se encuentra la casi totalidad del agua del suelo aprovechable por las plantas, es decir, por ello atañe directamente al campo de la Ciencia Agrícola manifestada a través del Riego. Es lo que hace fundamentalmente a la relación "agua - suelo - planta".

Las soluciones nutritivas del suelo entonces, que son las que sustentan el desarrollo de las explotaciones agrícolas, "trabajan" y se modifican dinámicamente entre los límites más usuales de  $W = 3$  a  $W = 15$  atmósferas o bares de tensión.

No obstante, debe recordarse que la mayoría de las explotaciones desde el punto de vista económico, debe actuar dinámicamente en lo que concierne al riego, con un contenido de humedad relativamente alto, es decir, que su tensión de succión o esfuerzo de humedad de las plantas en el suelo por el contrario será bajo, no sobrepasando cierto "umbral crítico" de succión o de trabajo, el cual puede situarse por ejemplo, entre 1,1,5 a 2 atmósferas.

Se aprovecha así tan sólo un porcentaje del agua almacenada en el suelo, aún en el estado capilar.

3.- AGUA LIBRE PRACTICAMENTE INMOVIL.- No aprovechable y corrientemente denominada higroscópica.

Esta humedad está más fuertemente ligada al complejo de las partículas del suelo y puede afirmarse que no participan del proceso dinámico que acompaña al aprovechamiento del agua por las plantas. Como límite superior de menor tensión tenemos el ya mencionado "punto de marchitez" ( $W_{15b}$ ), mientras que el límite inferior pero de mucha mayor tensión, alcanzaría valores insospechados, tales como  $pF = 7$  por ejemplo. Nos situamos dentro del campo de la Física o Físico-Química del suelo y sus relaciones con las partículas.

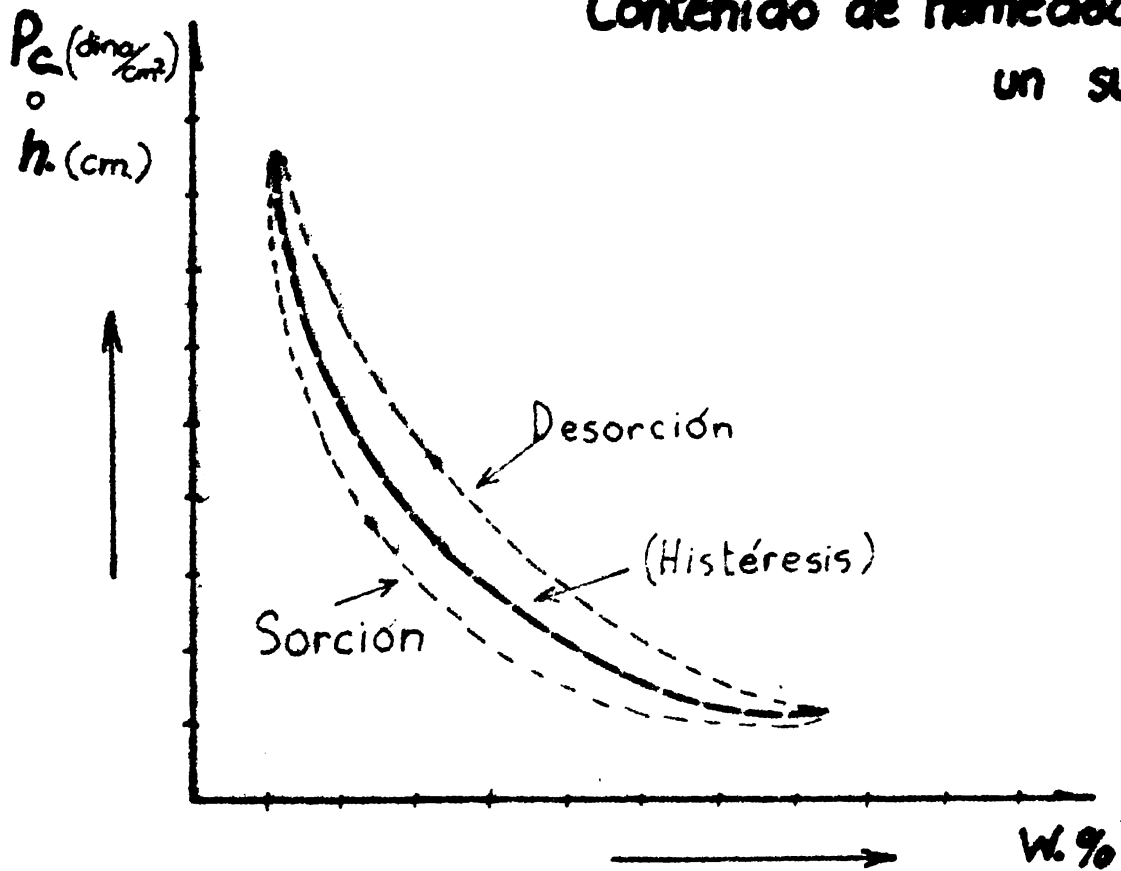
Los gráficos de las Figuras N<sup>o</sup>1, 2 y N<sup>o</sup>3 completan los conceptos desarrollados en clase.

Las curvas de Capacidad hídrica o contenido de humedad del suelo a diferentes tensiones de succión-Fig.N<sup>o</sup>4, N<sup>o</sup>5 y N<sup>o</sup>6, son ejemplos tomados de diferentes suelos de la zona del Valle Inferior del Rio Colorado, Argentina.

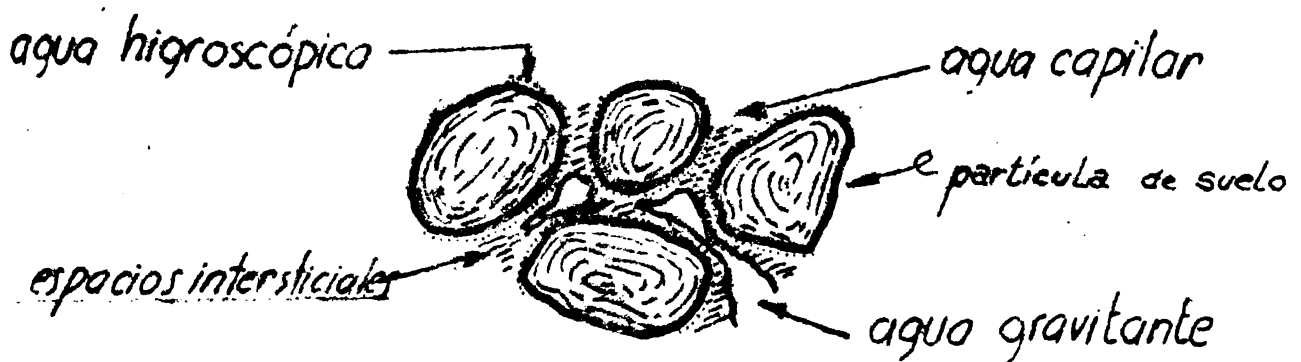
El gráfico de la Figura N<sup>o</sup>7 constituye un material de trabajo aplicado, para la confección de curvas en función de constantes hídricas dadas.

# Relación entre Presión capilar ( $P_c$ ) y/o Altura Equivalente de una columna de agua ( $h$ ) y

Contenido de humedad de un suelo -



## LOS TIPOS DE AGUA EN EL SUELO







**- RELACIONES AGUA-SUELO -**

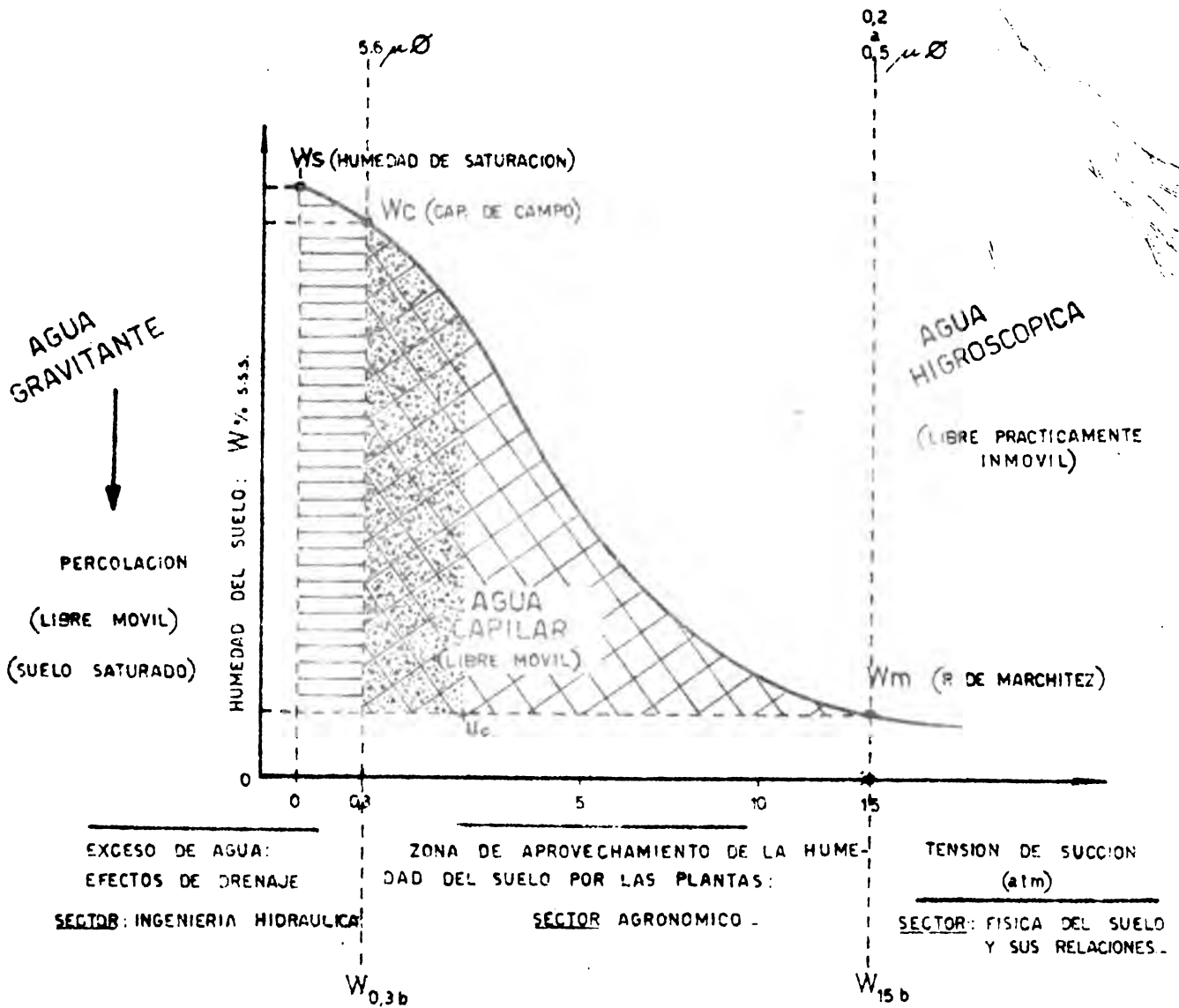
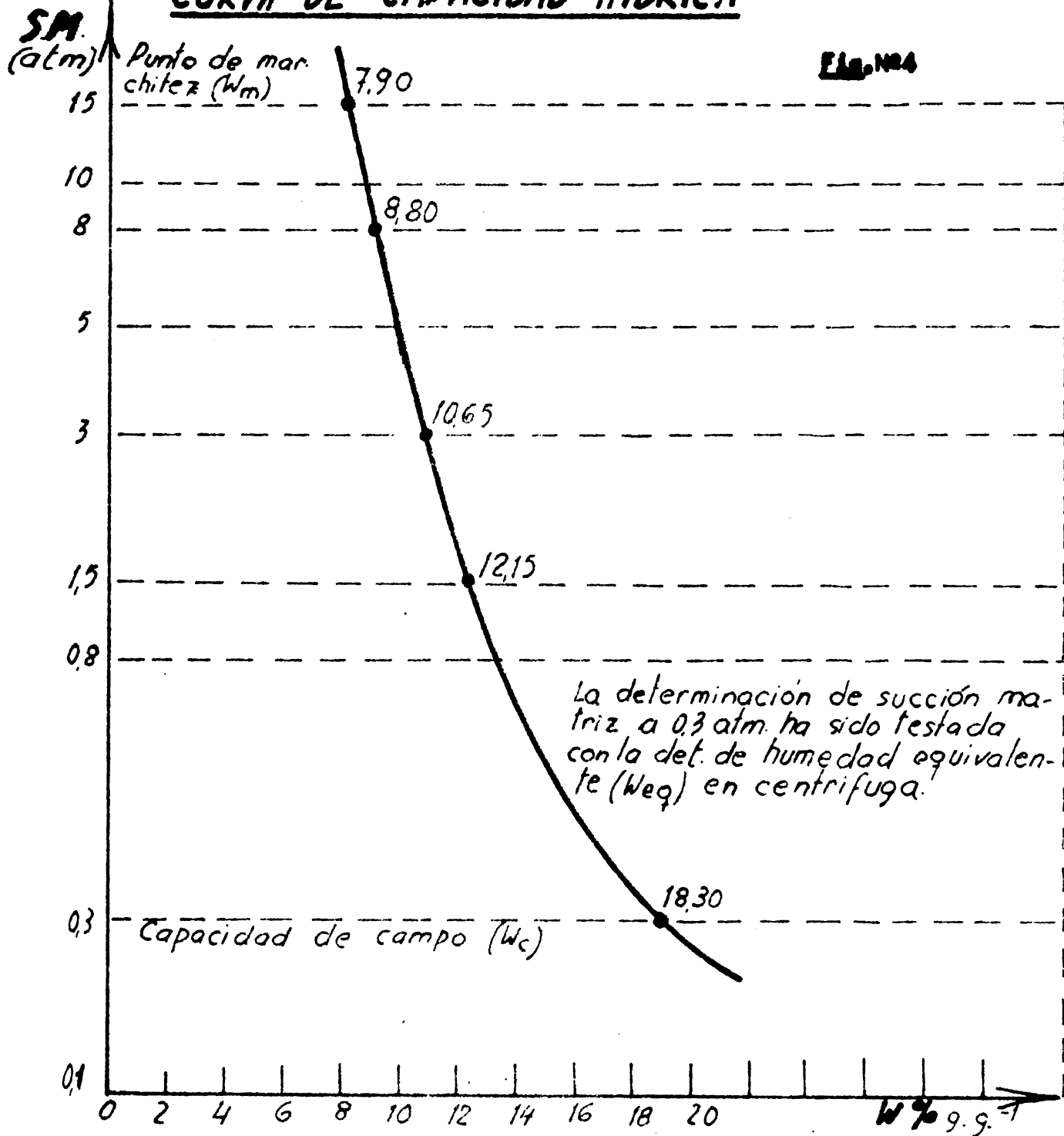


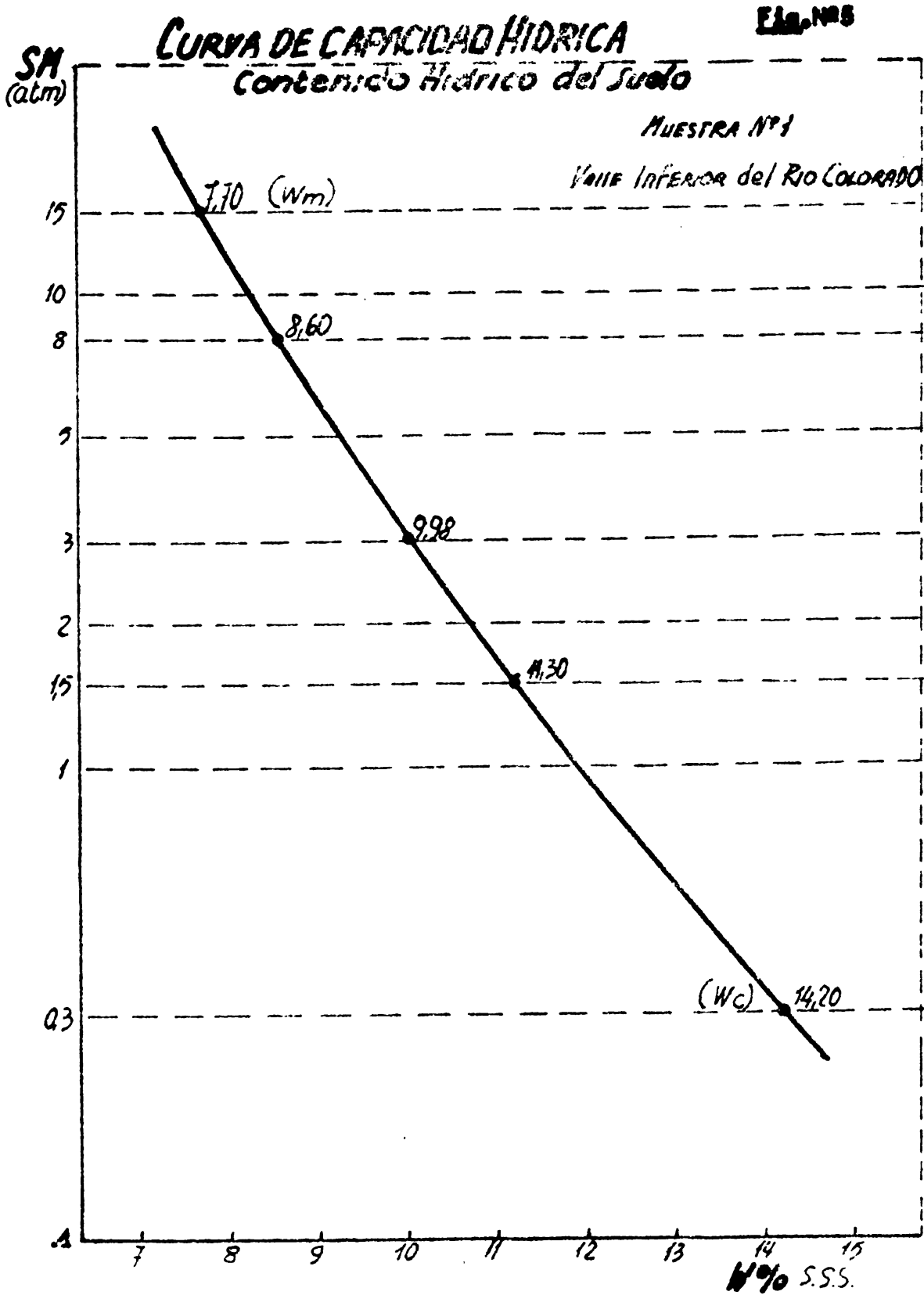
Fig.: N°3



# CURVA DE CAPACIDAD HIDRICA







*Curva correspondiente a una muestra de superficie de un suelo Agrícola franco-Arenoso.*

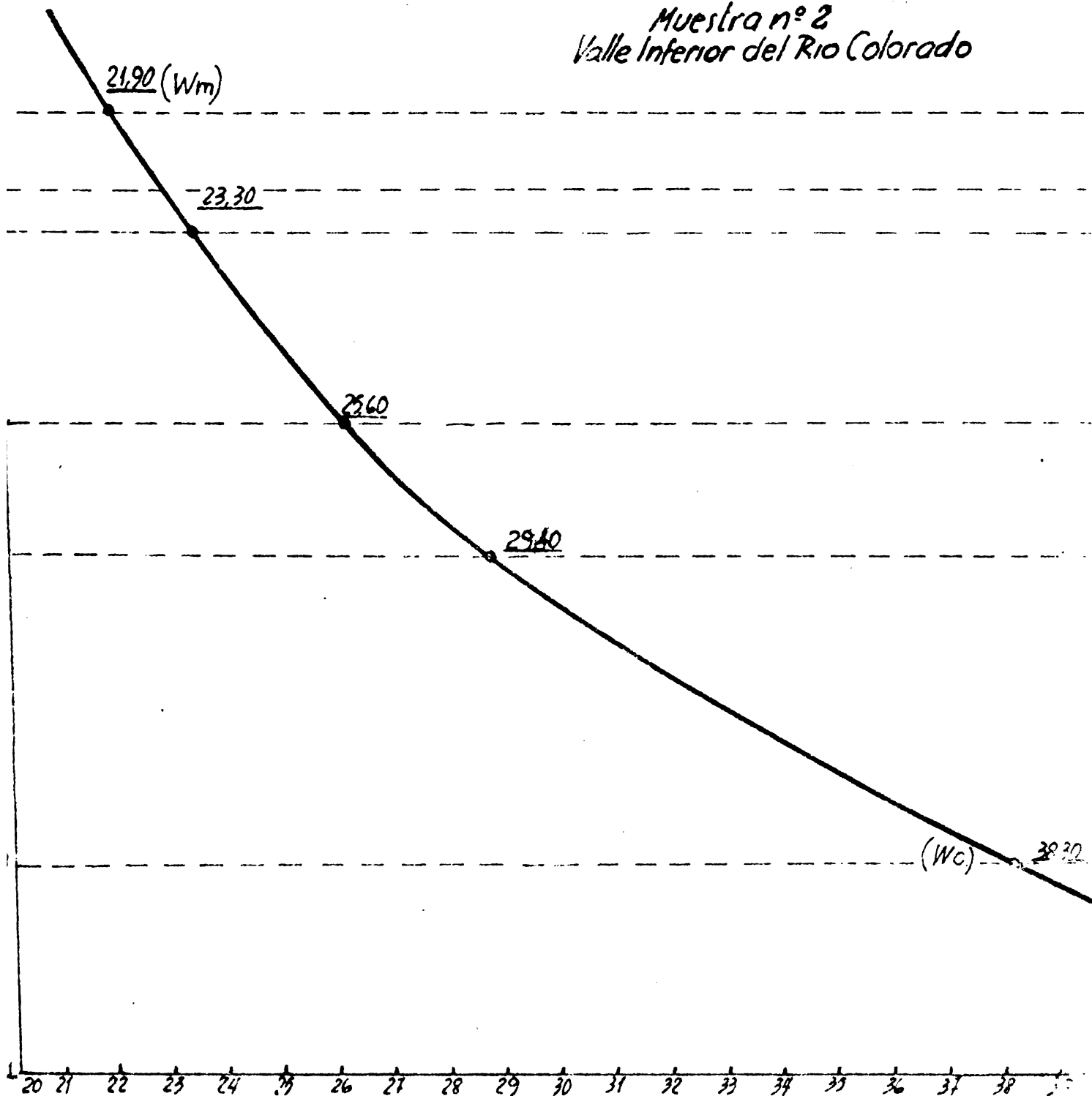


# CURVA DE CAPACIDAD HIDRICA

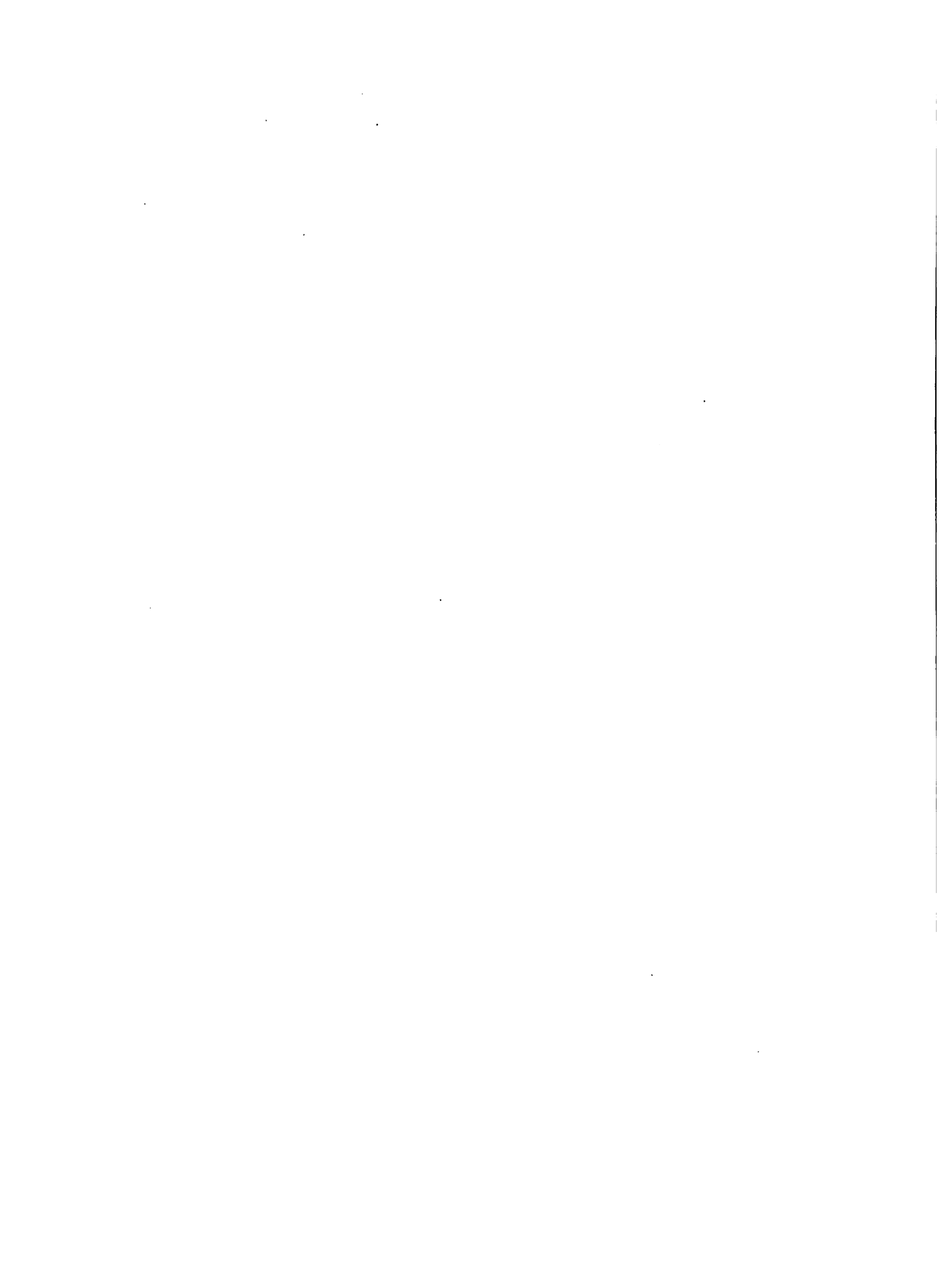
Contenido hidrico del suelo

Fig. No 6

Muestra n° 2  
Valle Inferior del Rio Colorado



Muestra de un Suelo Agrícola en Mayor Buratovich -  
revela una característica franco-arcillosa con alto





# CURVAS DE CAPACIDAD HIDRICA

Fig. N.º 7

S.M.  
(atm)

15

$W_m$

10

8

5

3

1.5

0.8

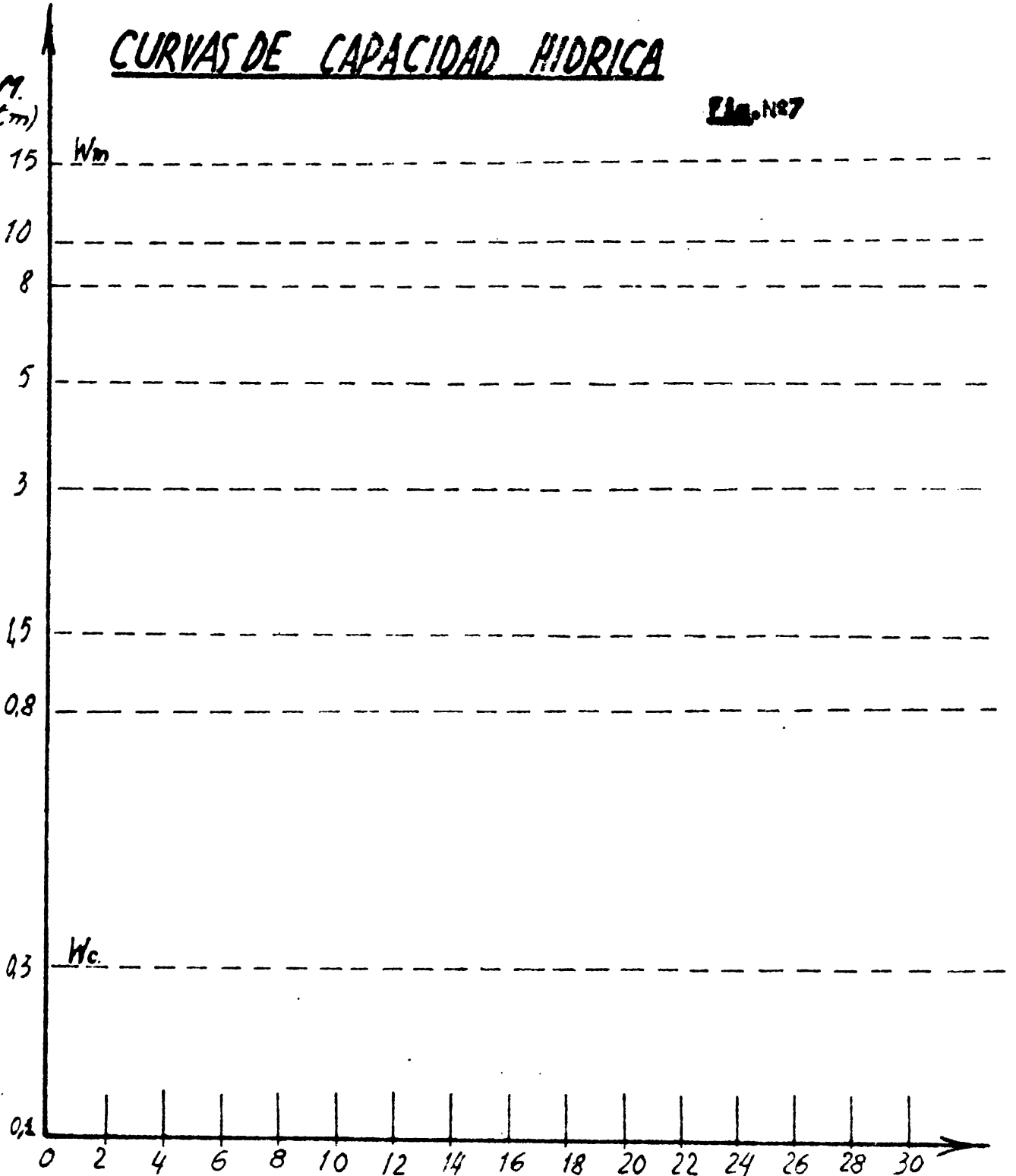
0.3

$W_c$

0.1

0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30

W. % g. g. -1





**B. FORMAS DE EXPRESION DE LA HUMEDAD DEL SUELO**  
**MEDIDORES DE HUMEDAD**

**POTENCIAL HIDRICO TOTAL DEL SUELO:** ( $\psi$ ) representa "la cantidad de trabajo que debe ser efectuado por unidad de masa de agua, con el objeto de transportar, reversible e isotérmicamente, una cantidad infinitésima de agua desde un reservorio de agua pura, situada en una elevación específica y bajo presión atmosférica, hasta el agua del suelo" (de la Asoc. Internac. de la Ciencia del Suelo).

Dentro del concepto de "energía libre", en el caso del agua del suelo, se considera el agua en el punto libre, estableciéndose:

$$F. \text{Potencial Total} = P. \text{Gravitatorio} + P. \text{Matriz} + P. \text{Osmótico.}$$

$$\psi = G. + M + O$$

con relación a un mismo plano de referencia: P.

---

$W_x$	: contenido de agua en el momento determinado de análisis, o de toma de muestra.
$W_c$	: contenido de agua a Capacidad de campo.
$W_m$	: contenido de agua al Punto de marchitez permanente.
$W_{0,3b}$	: contenido de agua a 0,3 bares o atmósfera, que correspondería a la usual Capacidad de campo.
$W_{15b}$	: contenido de agua a 15 bares o atmósferas, que correspondería al Punto de marchitez permanente.
$(W_c - W_m)$	: agua disponible total, prácticamente aprovechable por las plantas.
$(W_x - W_m)$	: agua disponible parcial, en el momento del análisis.
$0,6(W_c - W_m)$	: agua disponible por las plantas a 0,6 de la Capacidad de campo, rango usual de aprovechamiento.
$(W_c - W_x)$	: agua consumida hasta el momento del análisis

$\frac{W_x - W_m}{W_c - W_m} \cdot 100$  : agua disponible con relación al rango total, por ciento.

$\frac{W_{1,5b} - W_m}{W_c - W_m} \cdot 100$  : agua disponible a 1,5 bares ( o atmósferas ) con respecto al rango total de disponibilidad.

---

TABLA DE LAS PROPIEDADES FISICAS GENERALES DEL SUELO  
Y SUS LIMITES

Tipo de suelo por textura	Capac. de campo % Wc	Punto de marchitez % Wm	Infiltr. básica mm./hr. Ib	Peso Específico o densidad aparente	Agua disponible en mm./dm. aprox
ARENOSO - SUELTO	9 6 - 12	4 2 - 6	50 25 - 200	1,70	8
FRANCO ARENOSO	14 10 - 18	6 4 - 8	25 13 - 75	1,50	12
FRANCO o MEDIANO NORMAL	22 18 - 16	10 8 - 12	12,5 8 - 20	1,40	16
FRANCO LIMOSO o FRANCO LIGERAMENTE ARCILLOSO	25 27 - 35	13 12 - 17	7,5 0,5 - 10	1,35	19
ARCILLOSOS ARCILLOSO-COMPACTOS	35 30 - 39	17 15 - 19	5 0,3 - 6	1,25	22

. Del S.C.S, Israelsen y otros.

NOTA: en las columnas 2,3,4 el valor superior representa la moda o valor más frecuente, Las cifras situadas inmediatamente debajo se refieren al rango normal de variación.

## 2. Medidores de humedad en el suelo

Dentro de la variación gama de procedimientos, instrumental y métodos existentes para la determinación de la humedad del suelo en campaña, se consigna sólo dos técnicas:

- 2.1. Medidores de humedad basados en la resistencia de un bloque de yeso, calibrado, colocado dentro del horizonte de suelo. Procedimiento "Bouyoucos".
- 2.2. Medidores de humedad fundados en el uso de la membrana porosa de porcelana, que detecta la tensión de succión del complejo suelo según su estado de humedad: "tensiómetros" o "irrómetros".

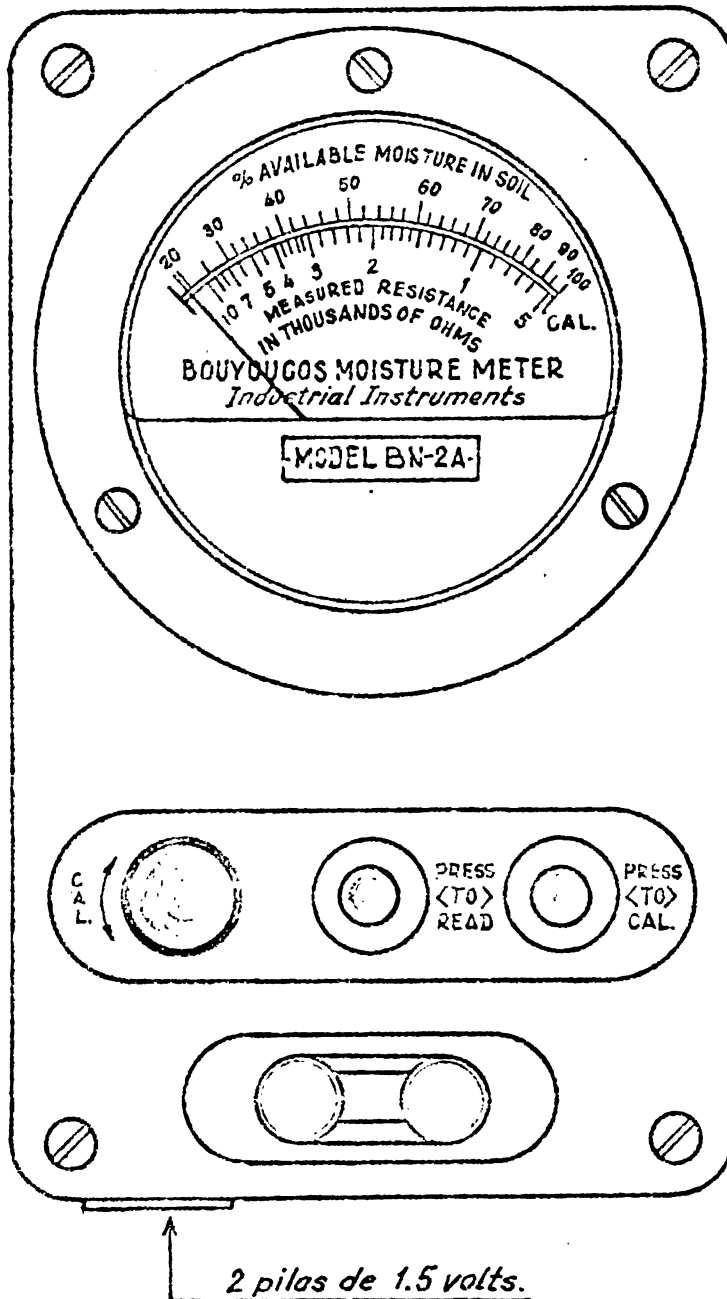
Otros procedimientos de campaña están basados en la extracción de muestras "in situ" y la determinación del contenido de agua por su combinación con elementos químicos (cilindros con ampollas de sulfuro), en el uso de resistencias eléctricas en formas parecidas al procedimiento "Bouyoucos", las denominadas puntas gravimétricas que adquieren peso por absorción de humedad, etc.,.

Desde un punto de vista más aplicado, existe un método basado en el comportamiento de la masa del suelo al ser amasado con la mano, previo conocimiento de su textura.

Procedimientos más avanzados recurren a otros elementos más precisos aunque costosos, como la Sonda neutrónica (S.E.K.) que mediante una curva de calibración previa permite establecer el contenido de humedad del suelo.

CARACTERISTICAS DEL MEDIDOR DE HUMEDAD PARA SUELOS TIPO "BOUYOUOS", CON BLOQUE DE YESO

113-258

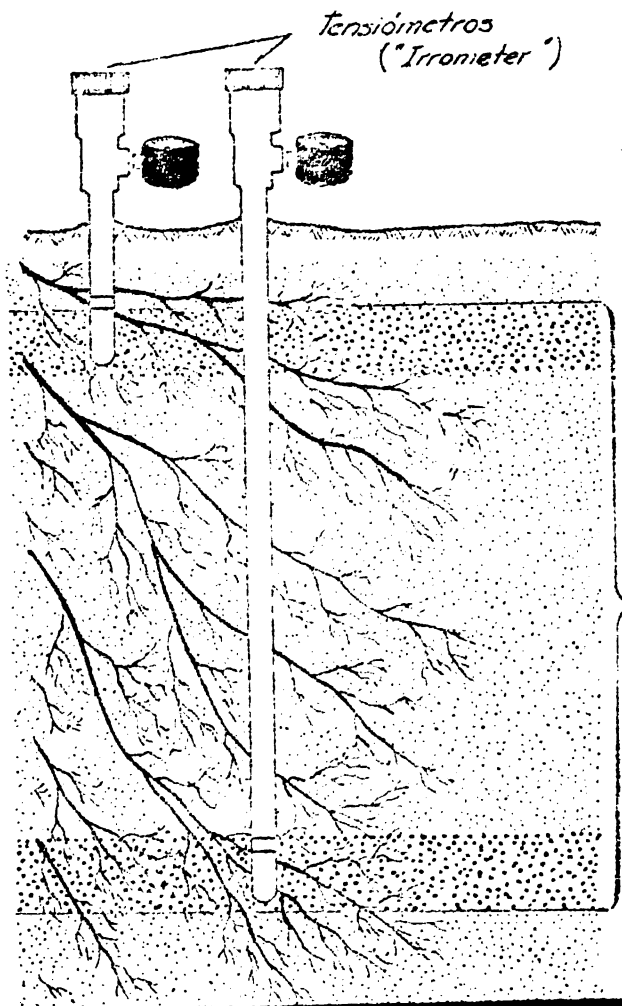


TAMAÑO NATURAL



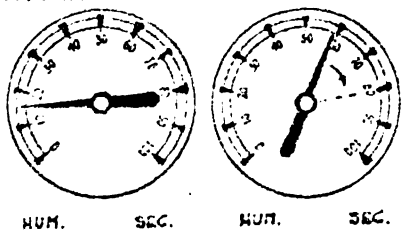


UBICACION DE LOS TENSIOMETROS PARA MEDIR LA HUMEDAD DEL SUELO (T. AMERICANO)



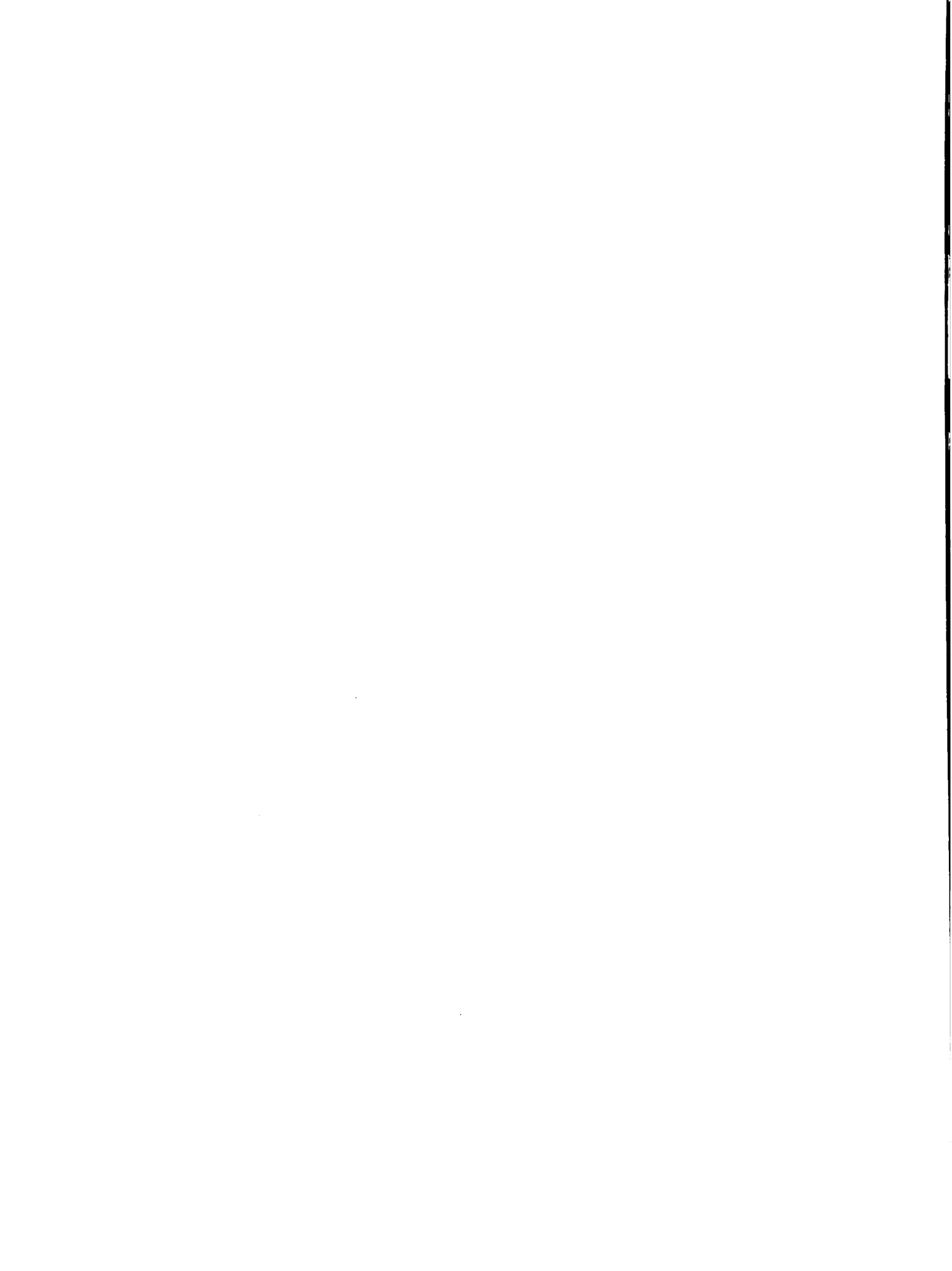
ZONA DE CONTROL DE HUMEDAD

LECTURA DEL TENSIOMETRO

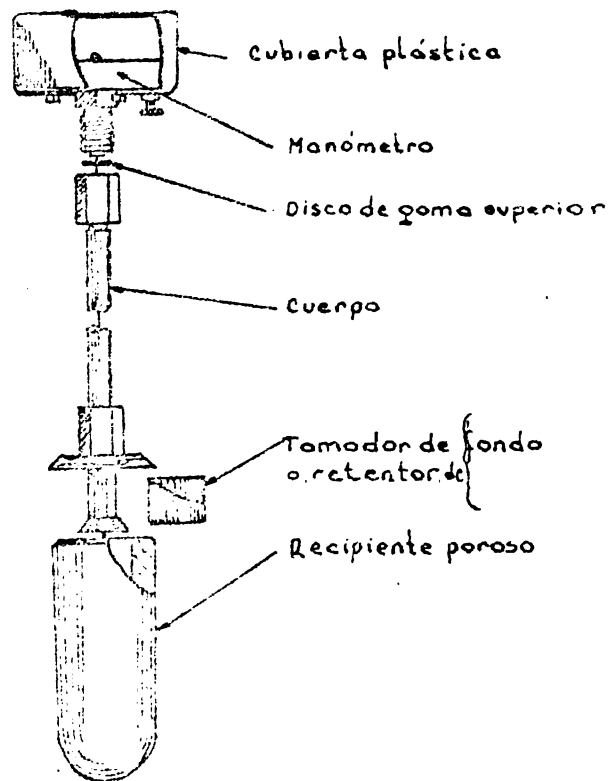


HAY HUMEDAD SUFICIENTE

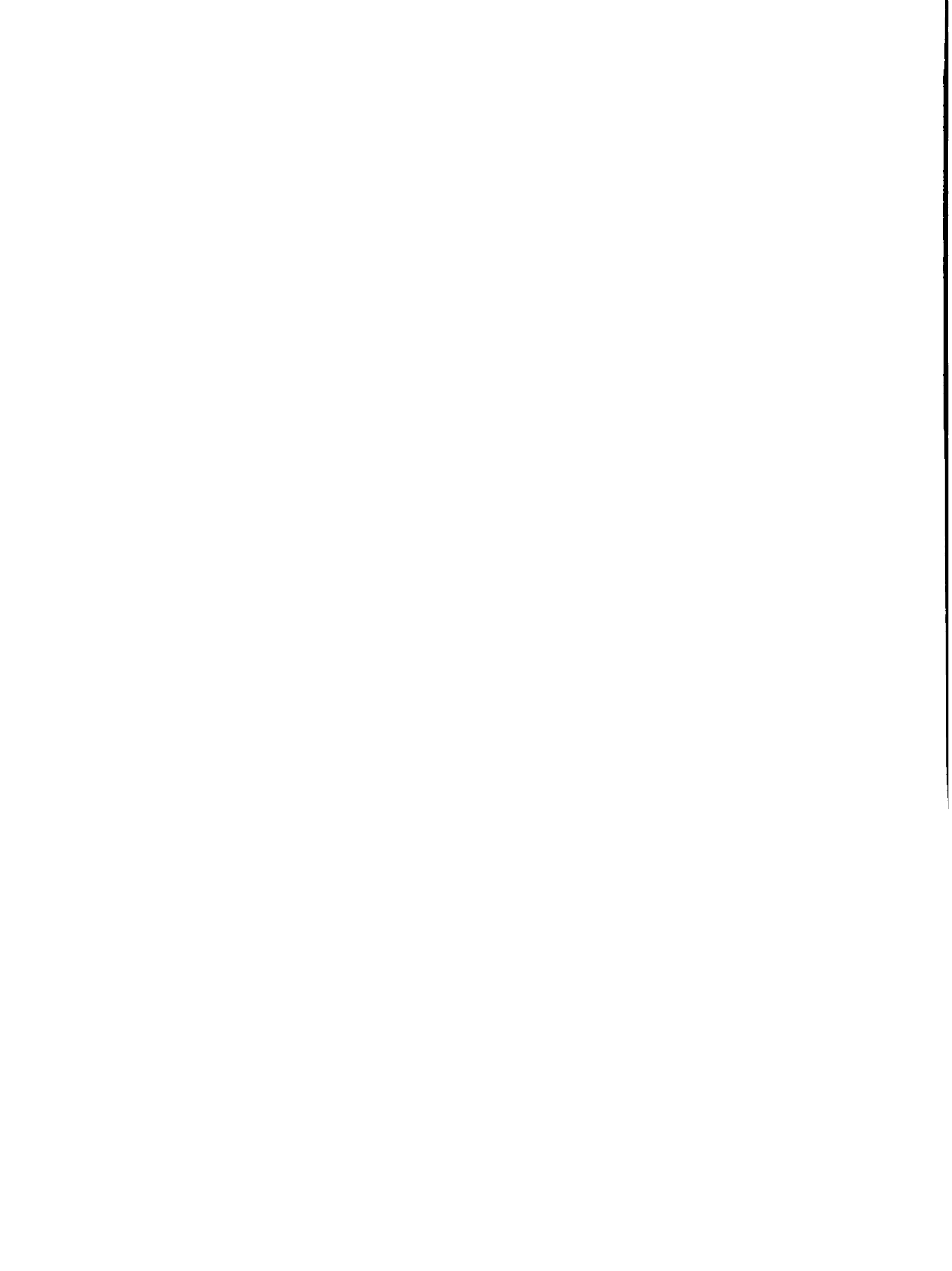
BAJA HUMEDAD, DEBE REGARSE



MODELO DE TENSIOMETRO (TIPO INGLES)  
PARA MEDIR HUMEDAD DEL SUELO



'Gallenkamp' Grower's Model Tensiometer



**C. PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO O DE CAMPAÑA, DESCRIPTOS EN FORMA ABREVIADA, PARA LA DETERMINACION DE LAS DENOMINADAS "CONSTANTES HIDRICAS" EN MUESTRAS DE SUELO**

**A1. PROCEDIMIENTOS PARA LA DETERMINACION DE LA "CAPACIDAD DE CAMPO" (Wc, ó Wo, 3b ó C.C.)**

**1. .- PROCEDIMIENTO DE LA PARCELA EN CAMPAÑA**

Se procede a limitar una parcela que cumpla los requisitos indispensables tales como: buenas condiciones de limpieza, correctamente nivelada o emparejada, de modo que se pueda regar abundantemente hasta que percole, Luego se cubre en forma pareja y total la misma con un "colchón de paja" o cubierta de plástico para evitar la evaporación directa.

Se deja permanecer en estas condiciones entre 30 a 72 horas para que drene convenientemente, según el tipo de suelo. Posteriormente se extrae la muestra de suelo a considerar, a la profundidad deseada y se la lleva a la estufa a los 105°C. de temperatura para determinar su humedad, según procedimiento corriente.

Obs.: Corrientemente para la humedad a Wc los suelos sueltos arenosos se dejan percolar alrededor de 30 horas: los suelos francos o medianos alrededor de 40 a 50 hs. y los suelos arcillosos o compactos entre 68 a 70 hs., de aquí la conveniencia de conocer previamente la textura del suelo.

**. 1. 2. -METODO PARA LA DETERMINACION DE LA HUMEDAD EQUIVALENTE Y APLICACION A LA FORMULA DE ROE.**

Este procedimiento es quizás el más empleado en laboratorio y para este fin se apela al uso de la conocida Centrifuga tipo "Universal".

**Técnica operatoria**

1.- Colocar en cada una de las celdillas de la centrifuga las distintas muestras de suelo, previamente pasados por tamiz de 2 mm.

- 2º.- Llevar hasta saturación con agua destilada manteniendo una altura de lámina en cada celdilla con la muestra de suelo, tomando la precaución de no cubrir por completo la celdilla. Dejar dichas muestras como mínimo por un tiempo de 6hs.
- 3º.- Colocar las celdillas previamente numeradas en el plato de la centrífuga.
- 4º.- Cerrar la centrífuga y girar la llave de mando poniendo la unidad en marcha.
- 5º.- Se dá velocidad a la centrífuga, aumentando los puntos en forma gradual hasta alcanzar el valor de 1.000 G(2.400 r.p.m.).
- 6º.- Se gradúa el reloj a 20 minutos, colocando el equipo en posición de "automatico". Transcurrido este período la unidad se detiene. Esperando a que el plato se detenga, se procede a retirar las celdillas.
- 7º.- Se pasan las muestras a cápsula de procelana previamente tarados y se pesan.
- 8º.- Se llevan las muestras a estufa a 110 de temperatura durante 6 horas, luego se vuelve a pesar.

#### Cálculos:

$$\text{Húmedad equivalente (Weq)} = 100 \frac{(\text{Peso suelo húmedo} - \text{Peso suelo seco})}{\text{Peso suelo seco}}$$

#### Formula de Roe

$$\text{Capacidad de campo (Wc)} = (\text{Weq} \times 0,865) + 2,62$$

#### 1.3.-PROCEDIMIENTO CON EL EMPLEO DE "PLATOS DE CERAMICA Y OLLA DE PRESION" Y SISTEMA DE SUCCION A 0,3 BASES E 0,3 ATMOSFERAS, O 0,1 BAR O ATMOSFERA.

Para poder aplicar este método se debe contar con el siguiente equipo: Platos de ceramica y olla de presión. Anillos de goma de aproximadamente 1 cm. de alto y 6 cm. de diámetro, para contener las muestras de 25 gramos de suelo como mínimo. Balanza,

estufa y recipientes para determinación de humedad.

### Técnica operatoria

Se procede a preparar por duplicado muestras de 25 gramos de suelo previamente tamizado con una criba (o tamiz) de 2 mm. Se ubican los anillos de retención de la muestra en el plato poroso, luego se coloca el suelo dentro de cada anillo, emparejándose. Dichas muestras ya en el plato se las deja con exceso de agua por lo menos durante 16 horas. Luego se extrae totalmente el agua, se tapa la olla y se aplica a la misma una presión de 0,1 a 0,3 atmósfera según el caso. Las muestras pueden retirarse después de 48 hs. de que se inició la extracción o cuando las lecturas de una bureta conectada a la salida de un plato indiquen que el escurrimiento de todas las muestras a cesado. Antes de quitar la presión de la olla conviene poner una pinza de presión en el tubo de salida de cada plato. Esto evita movimiento de agua hacia las muestras al quitar la presión. Por último se determina el contenido de humedad a peso constante a los 105°C. de temperatura. El valor obtenido se expresa en por ciento en base a peso de suelo seco.

Aunque se ha mencionado que el límite de succión que caracteriza la capacidad de campo varía según el tipo de suelo, corrientemente entre 0,1 a 0,5 atmósferas (o Bares), no obstante se asume como valor "constante" el de 0,3 atmósferas.

#### 1. 4.-OTROS PROCEDIMIENTOS: POK . TEXTURA"

Este procedimiento es el que comunmente utilizan los Ingenieros Civiles de la Secretaria de Recursos Hidráulicos de México y es solamente de carácter aproximativo.

La ecuación correspondiente es la siguiente:

$$Wc = 0,023 \times \% \text{ are} + 0,25 \times \% \text{ Li} + 0,61 \times \% \text{ arc.}$$

Are: arena

Li: limo

Arc: arcilla.

C.2. PROCEDIMIENTOS PARA LA DETERMINACION DEL "PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE. (Wm, o P.M.P.)

A pesar de que se lo define en un sentido puntual, cabe aclarar que muchos autores lo caracterizan como rango de marchitez.

2.1. PROCEDIMIENTO EMPLEANDO EL EXTRACTOR DE MEMBRANA DE PRESION, A 15 ATMOSFERAS

Equipo necesario

Plato de presión con membrana visking. Anillos de goma de 1 cm. de alto y 6 cm. de diámetro que puedan contener 25 gramos de suelo aproximadamente. Balanza, estufa y recipientes para humedad.

Procedimiento

Preparar muestras de suelo por duplicado previamente tamizadas con una malla de 2 mm. Húmedecer la membrana visking durante 1 h. aproximadamente antes de abrirla, para colocar. Ubicar los anillos de goma sobre la membrana. Verter dentro de los mismos las muestras de 25 gramos y emparejar con una espátula. Con una pipeta, ir mojando sobre la membrana alrededor de las muestras (no mojar directamente las muestras).

El proceso de húmedecimiento dura aproximadamente unas 20 hs. que permanecen las muestras dentro del extractor, con la tapa puesta, pero sin los tornillos. El excedente de líquido sobre la membrana puede quitarse con una pipeta.

Luego tapar, colocar los tornillos haciendo presión pareja (tensión:5), hacer andar el compresor para que levante presión de a poco, hasta 225 Psi (pound - square - inch) (libra por pulgada cuadrada), equivalente a 15 atmósferas.

Las muestras debe estar bajo presión como mínimo de 40 a 48 horas.

Para evitar cambios de humedad, las muestras deben pasarse a casoletas tan pronto como se quite la presión de extracción,



luego se determina el porcentaje de humedad secando a peso constante a 105 °C. de temperatura, expresándose con base a peso de suelo seco.

## 2.2.-METODO BIOLÓGICO O DE MACETAS DE LABORATORIO

Este método conocido desde hace muchos años, va cayendo en desuso ya que resulta sumamente laborioso y a veces los resultados obtenidos no son precisos.

Se basa en colocar muestras de suelo a analizar en recipientes de cartón parafinado o pequeñas macetas, para luego sembrar semillas de girasol (planta parénquima amplio, de fácil apreciación). Dejar que se desarrolle hasta 3 o 4 hojas, preferiblemente en ambiente de igual temperatura.

Se procede a impedir la evaporación de la superficie del suelo con una mezcla de vaselina y parafina. Al cabo de un cierto tiempo, al entrar la planta en marchitez, se la lleva a un ambiente de vapor saturado. Cuando la misma se recupera se la reintegra al clima original.

Esta operación se repite hasta que la planta ya no se restablece más y entra en marchitez permanente. Luego extraer muestra del suelo y determinar la humedad a estufa.

## 2.3.-PROCEDIMIENTO TONOMETRICO

Este método es en general poco conocido y se basa en llevar la muestra del suelo a una tensión de vapor que correspondería al coeficiente de marchitez.

Corresponde a:  $\frac{P}{P_0} : 0,99$        $P/P_0$ : relación de tensiones de vapor en medios confinados.

Esta tensión es la de pF: 4,1 (15 atm).

Para lograr esto, el Ing. Arena, recurre a una solución saturada de Nitrato de Bario ( $Ba(NO_3)_2$ ), y Veihueyer a una solución de 3,3% de ácido sulfúrico y agua pura. Se coloca dentro de un desecador la solución saturada y en un colador cubierto de fina malla la muestra de suelo, que se expone así a la influencia de ese medio ambiente.

Se deja 6 hs. y se pesa, hasta peso constante.  
Se determina la humedad de la muestra a estufa.

**PORTE II . EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL, USO CONSUNTIVO  
Y REQUERIMIENTO DE RIEGO.**

**II.A. Sumario de los Procedimientos más corrientes**

1. Procedimientos Experimentales a Campo.
  2. Procedimientos basados en datos meteorológicos corrientes.
  3. Procedimientos basados en datos de radiación.
- B. Desarrollo de los Procedimientos: tablas y elementos de trabajo**
1. Método Thornthwaite de Evapotranspiración Potencial.
  2. La Evapotranspiración Potencial por el Procedimiento de Papadakis.
  3. Cálculo del Uso Consuntivo y Requerimiento de Riego por la Fórmula de Blaney y Criddle.
  4. Procedimientos basados en la Fórmula de Hargreaves.
  5. Procedimiento para hallar la Evapotranspiración por la Fórmula de Turc.
  6. Fórmulas y Métodos de Meyer y Davidov.

A. SUMARIO DE LOS PROCEDIMIENTOS EXISTENTES MAS CORRIENTES PARA EL CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION EL USO CONSUNTIVO Y LAS NECESIDADES DE AGUA PARA RIEGO

Definiciones:

- EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL ( $E_p$ ) o ( $E_t$ ) concepto ampliamente desarrollado por Thornthwaite, puede definirse como "la máxima evapotranspiración posible que se produce en condiciones favorables, con el suelo bien provisto de agua practicamente cercano a su Capacidad de campo y tapizado por una cubierta vegetal densa, pareja y de poca altura".

- LA EVAPOTRANSPIRACION REAL ( $E_o$ ) en cambio, es aquella que se adapta a condiciones dadas o reales del medio.

- EL USO CONSUNTIVO, concepto aplicado por Field, USA, 1930, puede definirse como "la cantidad de agua consumida o gastada en una área dada en unidad de tiempo, tanto para la evaporación del suelo como así también para la transpiración de los cultivos y la formación de sus tejidos, pudiendo integrarse en cierto modo con la precipitación interceptada por la cubierta vegetal". Como la proporción de agua usada en la formación de los tejidos es pequeña en relación al proceso de evapotranspiración, el uso consuntivo puede suponerse muy similar a la evapotranspiración, en función de las condiciones dadas para ambos procesos.

- LA NECESIDAD o requerimiento de Agua por las Plantas ( $N_c$ ) es otro concepto más o menos similar desarrollado ampliamente por Papadakis.

Dentro de la unidad o sistema, la Evapotranspiración representa la Energía solar y constituye una función de entrada: ( $-E_{et}$ ).

Métodos y Procedimientos más generales.

1.- PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES A CAMPO

Como su nombre lo indica, se realizan en campaña y admiten la siguiente variante:

**1.2. Método de las Parcelas de Ensayo.**

Son parcelas, secciones o cuadrados donde puede medirse o aforarse tanto el agua aplicada como los excedentes.

El consumo puede asimilarse a la siguiente ecuación:

$$\underline{d_{mm}} = (\sum \Delta W \cdot \rho_a \cdot D) + (P \cdot E_f) \cdot 0,1$$

donde:

$\Sigma$  : sumatoria que puede referirse cada vez a n capas de suelo.

$\Delta W$ : diferencia del contenido de humedad de la muestra, dentro del intervalo considerado ( $W\%$  s.s.s.,)

$\rho_a$ : densidad aparente del suelo.

D: profundidad de la capa u horizonte de suelo, considerado a los efectos del mojado (en cm.)

P: precipitación registrada como aporte, en mm. Otro aporte puede ser R (riego).

$E_f$ : eficiencia de la precipitación asumida según intensidad, etc.,

0,1: factor para lectura directa en mm.

Si a esta fórmula la relacionamos al factor tiempo, es decir, la dividimos por t (en días), se obtiene lámina de consumo, asimilable al concepto de  $E_a$ , en mm/día.

Es muy importante el "umbral de humedad" edáfica ( $W_u$ ) a que se trabaje, de acuerdo a la succión matriz considerada en el ensayo. Así por ejemplo,  $\Delta W$  puede tomarse entre  $W_c(0,3 b) - W_x(1,5 b)$

Puede obtenerse la media ponderada de la succión de trabajo para todo el ciclo

1.b. Método de los lisímetros y / o evapotranspirómetros.

Son instrumentos aplicados más bien en el concepto de balance hídrico del suelo. Recordando la ecuación de balance:

$$(Q_i + P) - (Q_s + \Delta s) - E_{(et)} = 0 \quad \text{de donde:}$$

$$\underline{E \text{ o } E_u} = (Q_i + P) - (Q_s + \Delta s) \quad Q_i: \text{caudal ingresado al área.}$$

$Q_s$ : caudal salido idem.

$P$  : precipitación.

$\Delta s$ : variación de almacenaje.

$E_{(et)}$ : evaporación y / o evapotranspiración

En los lisímetros controlados no tiene en cuenta el agua ingresada por diversos medios, la percolación, la condensación atmosférica y otros factores. Se estudia también el agua contenida en el perfil del suelo, al principio y al final del proceso. Se llega a expresiones tipo de balance.

Dentro de los Evapotranspirómetros puede recordarse el de Thornthwaite, que aporta agua medida a un gran receptáculo que contiene un gran pan de tierra con cubierta vegetal. Se mantiene mediante caños perforados un falso manto freático a 0,50 m. de la superficie. De prácticamente la evapotranspiración potencial.

2. PROCEDIMIENTOS BASADOS EN DATOS METEOROLÓGICOS CORRIENTES.

La mayoría de ellos aplica los datos obtenidos de temperaturas medias, otras de máximas medias, tensión de vapor, velocidad del viento, humedad relativa, etc, etc,.

A los efectos del Requerimiento de agua en los cultivos, se recomienda en primer término:

2.a. Método de Blaney y Criddle ajustado.

Fórmula base:

$$\underline{U.C.} = K.F \quad \text{siendo:}$$

U.C.: uso consuntivo.

$K$  : coeficiente de ajuste  $K$  para cada cultivo.

F: Sumatoria de f mensuales, aunque el método se desarrolla mes por mes.

Se puede trabajar con temperaturas en grado centígrado, para la ecuación:  $f = \frac{t \times p}{100}$ . Además, se tiene en cuenta un coeficiente de ajuste  $K_t$  (de la S.R.H.) para la inter-relación de factores en zonas áridas de riego ( $K_t = 0,0311 t + 0,24$ ).

Se cuenta con tablas que dan:  $t_{\text{corr.}} = K_t \left( \frac{t + 17,8}{21,8} \right)$

El valor de "p" se refiere a :relación de porcentaje de horas de luz, en relación con la latitud.

Hallado el  $U.C._{\text{mp}} = f_{\text{corr.}} \times K \times 10$  se puede pasar a Lámina neta de reposición restándole la precipitación ajustada y finalmente, a Lámina o Requerimiento bruto a nivel de Parcela, aplicando la razón de eficiencia:  $1/E_f$  (Eficiencia de aplicación o manejo, o de uso consuntivo) Se cuenta con procedimientos standard.

### 3. Método Thornthwaite

Procedimiento muy proporcionado para estudio de balance de áreas, que está cayendo en desuso. De errores por defecto en zonas áridas.

Se trabaja también con temperaturas medias mensuales, con series históricas más o menos consistentes, de ser viable superiores a 20 a 30 años.

$$\text{Básicamente: } E_p = 16 \left( \frac{10 \cdot T}{I} \right)^a$$

T: es la temp. en °C,  $a$  es un coeficiente empírico y  $I = \sum i$  (índice calórico).

Existe un procedimiento standard que se desarrolla en los prácticos respectivos. Se obtiene la Evapotranspiración potencial corregida, mensual y anual, de un lugar.

2. Procedimiento Papadakis

Basado en su nueva fórmula, año 1962, para obtener prácticamente la Evapotranspiración potencial ( $E_t$ ).

Se apoya en las temperaturas máximas medias mensuales y en la tensión de vapor observada.

Su fórmula base es:

$E_t = 0,5625(e_{\max} - e_{ob})$ . Se aplica cada mes y para obtener el valor en mm, debe multiplicarse por 10.  
 $e_{\max}$  = tensión de vapor de saturación a la temp. máxima media considerada  
y  $e_{ob}$  = tensión de vapor registrada u observada, para el periodo.

Da cifras bastante ajustadas, a pesar de su simplicidad.

3. La fórmula de Hargraves  
Originariamente

$E_t \text{ Anual} = \sum e_{\text{mens.}} = \sum k.e$   
siendo k: factor de cultivo y  $e = m(t^{\circ}F - 32)$  para  $m = d.h$

Para trabajar con temperaturas en °C y evapotranspiración en mm la primera ecuación consignada que:

$$E_t = k. 9,65 . d. (1 - 0,01 h). (t.1,8)$$

donde: k: coef. mensual del cultivo.

d: duración del día en razón de la latitud.

h: humedad relativa media, tomada al mediodía.

Un ajuste posterior recomienda:  $E_t = 17,37.k.d.t.(1,0 - 0,01.h)$

4. fórmula de Meyer para Evapotranspiración

Dentro de la cantidad de fórmulas más o menos similares, consignamos la de Meyer, según la cual:

$$E_t = (11 + 1,5 U). (p_o - p) \quad (\text{da en mm/mes})$$

donde: U: velocidad media viento en millas /hora.

p: presión de vapor saturado, para Temp. Media mensual.

$p^o$ : presión de vapor observada.

2.8. Primera fórmula de Penman.

Una primera ecuación de este tipo dada por Penman para Evaporación, según la cual:

$$E_o = 0,35 ( 1 + 0,0098 U ). (p_o - p)(da \text{ en mm/día})$$

U: es veloc. del viento en mill/día y lo demás es similar a la fórm. anterior.

Otras fórmulas empíricas pertenecen a: Davidov, Meyer, Sharov, Lugeón, Coutagne, David, Veihmeyer, etc,etc.

2.9. Evaporación en tanque Tipo A.

Las medidas de registro diario que se obtienen en evaporación de tanque "Tipo A" son muy valiosas como elemento de "testado", ya que aplicándoles un coeficiente de ajuste (que generalmente está entre 0,65 a 0,75) permite obtener una curva de correlación sumamente real y representativa.

El Servicio Hidrológico de la U.R.S.S. ha aplicado las observaciones efectuadas en tanques de evaporación de este tipo para la obtención de una fórmula base que permita obtener la evaporación en "mm/mes".

La misma expresa:

$$E_{\text{mm/mes}} = \frac{0,15 n (f_s - f_a) \cdot (1 + 0,072 U)}{1}$$

donde:

n = número de días del mes considerado

f<sub>s</sub> = presión de vapor saturado de la temp. media del agua del tanque, en superficie (en milibares).

f<sub>a</sub> = valor medio de la presión de vapor observada en el aire, a 2 m. sobre sup. del agua, en milibares.

U = veloc. del viento en M/s a 2 mt. de altura. (promedio mensual).

En general, muchas fórmulas se apoyan en el déficit higrométrico (Dalton) o diferencias entre tensión de vapor saturado y observado, para una temperatura dada, es decir:  $E = f(K(e_s - e_a))$  y más ajustadamente, en la conocida "ecuación hidrodinámico", como:



$$E = f(u) \cdot (e_s - e_a)$$
 donde:

$u$ : corresponde a la veloc. del viento

$e_s$ : presión de vapor de saturación sobre superficie.

$e_a$ : presión de vapor observada, en aire.

### 3. PROCEDIMIENTOS BASADOS EN DATOS DE RADIACION

Al expresarse la evaporación y / o evapotranspiración como energía solar y analizar ésta última, surgen los conceptos de:

Radiación neta ( $R_n = R_r - R_e$ ), Radiación global ( $R_g =$  total y  $R_r = R_g(1 - r)$ ).

Numerosos autores proponen fórmulas sobre esta base y así tenemos:

#### 3.a. Fórmula de Jensen y Haise

Basada en la relación  $E_a/R_g$ , con factores de ajuste para un concepto de evapotranspiración potencial con cubierta vegetal completa:

$$E_p = ( - 0,37 + 0,014 T \text{ } ^\circ\text{F} ) R_g$$

$R_g$  se expresa en razón del agua evaporada, en mm/día; la temperatura se introduce en  $^\circ\text{F}$ .

#### 3.b. Fórmula de Penman.

Penman trabajó con una fórmula muy completa, que considera por una parte el balance de radiación y por otra parte la ecuación aerodinámica. Su cálculo es bastante complejo y se sigue para tal propósito un desarrollo "ad-hoc" según una planilla tipo.

Intervienen factores tales como: Temperatura media del aire, humedad relativa %, insolación  $n/N$ , velocidad del viento a 2 m. de la sup. del suelo, intensidad de la radiación ( $R_A$ ), coeficiente de reflexión o albedo, tensión de vapor, etc.,. Para éste desarrollo se ape<sup>la</sup> a la relación de Bowen que permite usar la radiación neta.

Criddle sigue un procedimiento ordenado para el cálculo (ver Israelsen).

En la aplicación de esta fórmula para hallar valores de  $E_o$  en la zona del valle del río Negro, se trabajó con la fórmula base:

$$E_t = \frac{\Delta + 0,486 E_a}{\Delta + 0,486} \quad (\text{mm/día})$$

siendo  $\Delta$  la pendiente de la curva de tensión de vapor vs temperatura, del aire.

. 3.C. Fórmula de Grassi y Christiansen

Esta ecuación fué formulada en principio de una forma más sencilla, siendo luego ajustada. Inicialmente se consideraba la radicación global, de modo tal que:

$$E_a = K.R_g . C_T . C_{cre} . F \quad \text{donde:}$$

K:cte adimensional.

$C_T$ :coef. para temperaturas s/temp.media.

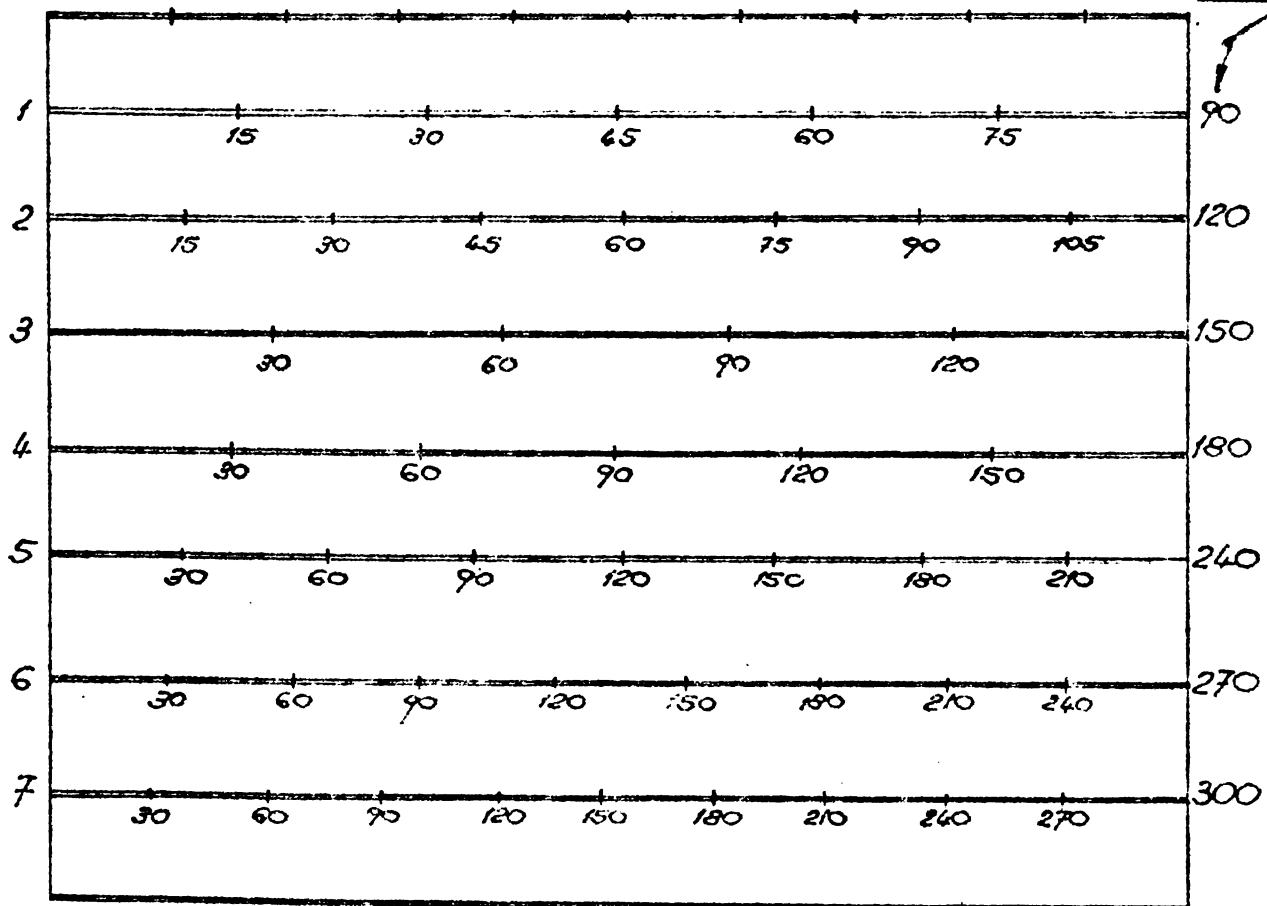
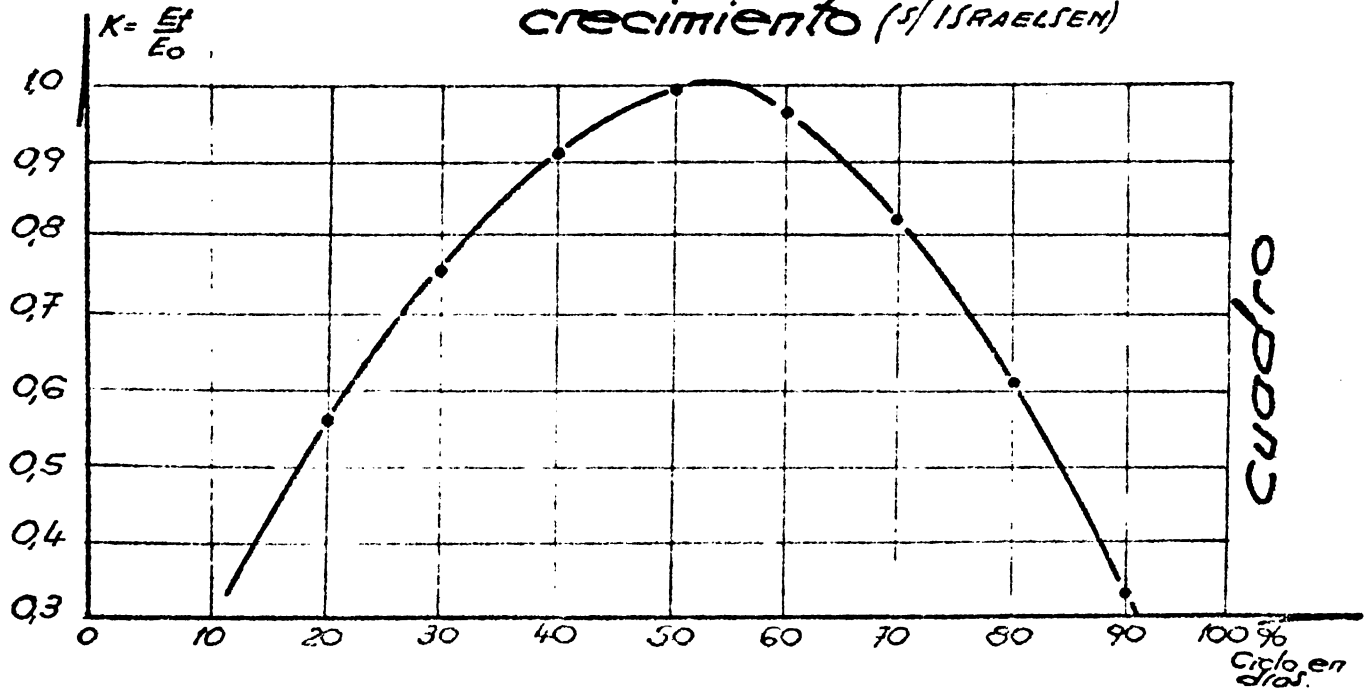
$C_{cre}$ :coef. de cubrimiento del terreno

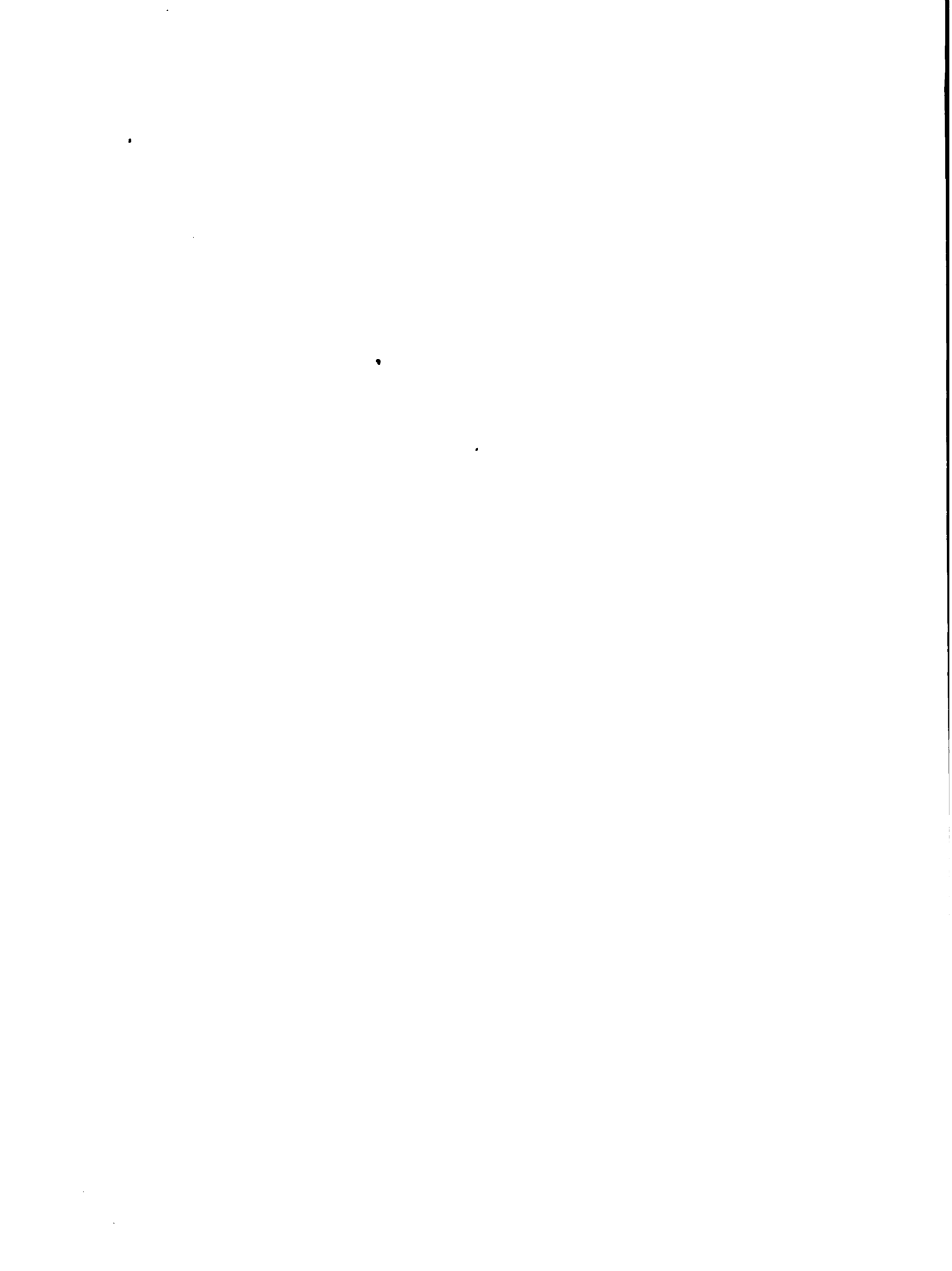
F:factor de cultivo.

Una fórmula posterior considera la Radiación solar teórica y se ha logrado estabular mediante nomogramas, el desarrollo de la ecuación.

Debe recordarse que el actual empleo del "net radiometer" para medir  $R_n$  se perfecciona cada vez más y facilita la inclusión del dato de radiación en las ecuaciones que se formulen.

# Relación de evapotranspiración (coef. K) para diferentes etapas del ciclo de crecimiento (S/ISRAELSEN)





**B. DESARROLLO DE LOS PROCEDIMIENTOS: TABLAS Y**  
**ELEMENTOS DE TRABAJO**



1. PROCEDIMIENTO

PARA HALLAR LA EVAPORACION POTENCIAL ( $E_p$ ) POR EL

METODO THORNTHWAITE





PROCEDIMIENTO PARA HALLAR LA EVAPORACION POTENCIAL ( $E_p$ ) DE UN LUGAR POR EL METODO THORNTHWAITE

Primero: se obtienen los valores de "temperaturas medias mensuales" de un lugar, en  $^{\circ}\text{C}$  (promedios mensuales de 20, 10 a 5 años).

Segundo: se convierten dichas temperaturas medias mensuales al índice calórico(i), mediante la tabla de conversión del método.

Tercero: se construye el nomograma basado en la recta de relación logarítmica, entre el log. de  $t^2$  y el de  $E_t$  sin ajustar.

Para ello, sobre un papel "doble logarítmico", se traza dicha recta de relación con dos puntos.

El punto superior o "punto de convergencia" es aquel dado por la obcisa con un valor de 135 ( el eje de obcisa representa la evapotranspiración potencial sin ajustar, en mm), que se encuentra con el valor de la ordenada 26,5 (el eje de las ordenadas representa la  $t^2$ ).

El punto inferior está dado por la vertical u ordenada levantada a los 16 mm. de la obcisa, cuya altura es igual a :

$$I (\text{ anual}) = \sum i.$$

En este caso, la escala es el eje de ordenadas por 10.

Uniendo ambos puntos, se determina la recta.

Cuarto: se hallan los valores de  $E_t$  sin ajustar mensuales, para lo cual se entra en el gráfico con la temperatura media por el eje de ordenadas hasta encontrar a la recta en un punto y desde allí, se baja hasta el eje de las obcisas, consignando el valor así hallado, mes por mes.

Quinto: se corrigen los valores anteriores sin ajustar, para lo cual se multiplica cada una de las cifras de  $E_t$  sin ajustar por el respectivo coeficiente de "duración media de resplandor solar"

dado según latitud, para cada mes . en una tabla.

Sexto: se suman todos los valores de  $E_t$  corregidos y se obtiene:

Evapotranspiración potencial anual, del lugar.

---

CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL  
POR EL METODO DE THORNTHWAITE

Localidad: \_\_\_\_\_

Latitud: \_\_\_\_\_

M E S	Temp. Med. en ° C	i	Evapotr. Potencial s/Ajustar	Factor Correc.	Evapotr. Potencial
Enero					
Febrero					
Marzo					
Abril					
Mayo					
Junio					
Julio					
Agosto					
Setiembre					
Octubre					
Noviembre					
Diciembre					
Anual					mm

Valores promedio de \_\_\_\_\_ años.

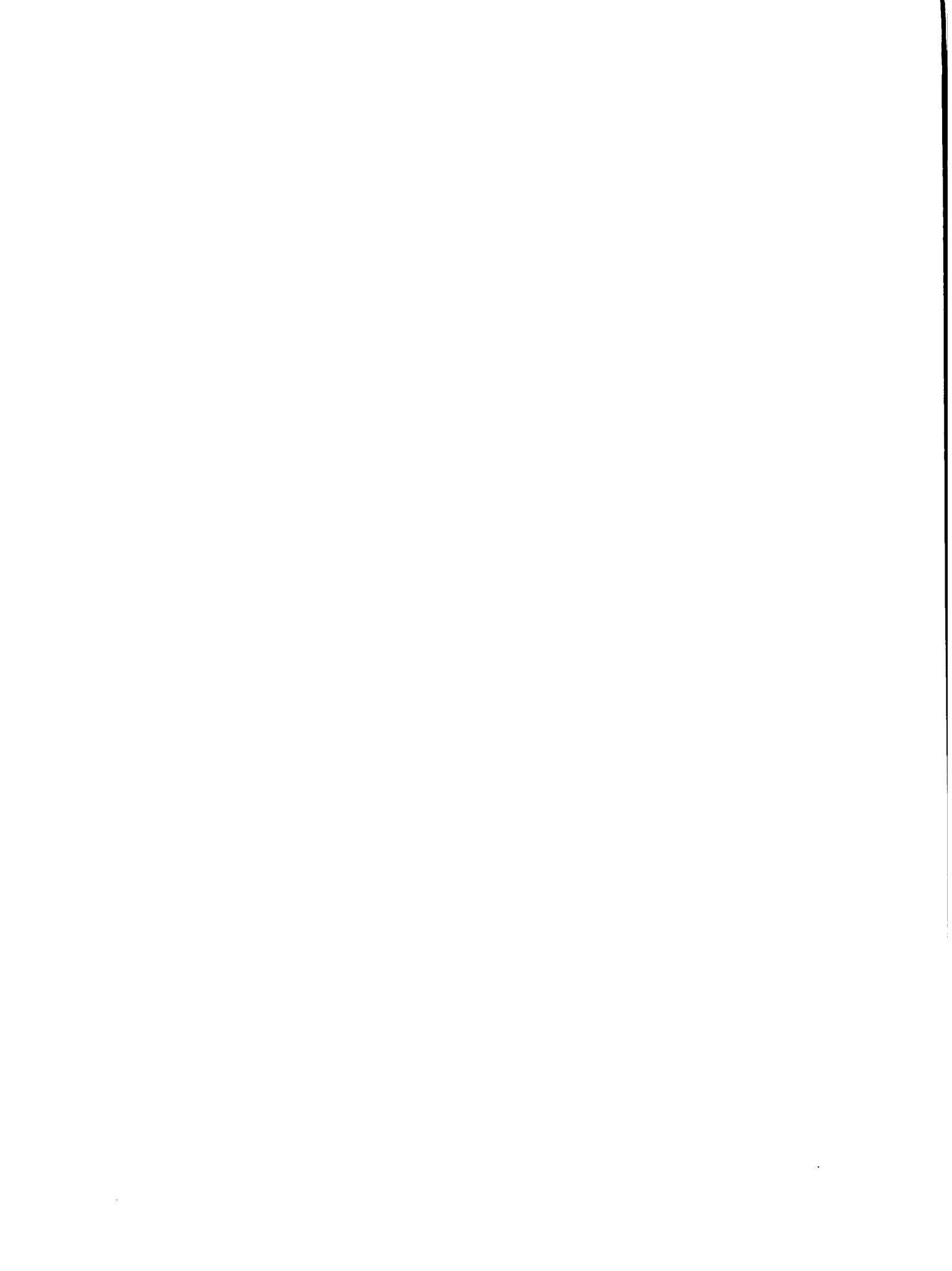


TABLA 1.— *Conversión de la temperatura media mensual al índice calórico «i»*

T °C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0			.01	.01	.02	.05	.04	.05	.06	.07
1	.09	.10	.12	.15	.15	.16	.18	.20	.21	.23
2	.25	.27	.29	.51	.53	.55	.57	.59	.42	.44
3	.46	.48	.51	.53	.56	.58	.61	.65	.66	.69
4	.71	.74	.77	.80	.82	.85	.88	.91	.94	.97
5	1.00	1.05	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29
6	1.52	1.55	1.59	1.42	1.45	1.49	1.52	1.56	1.59	1.65
7	1.66	1.70	1.74	1.77	1.81	1.85	1.89	1.92	1.96	2.00
8	2.04	2.08	2.12	2.15	2.19	2.25	2.27	2.31	2.55	2.39
9	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.69	2.75	2.77	2.81
10	2.86	2.90	2.94	2.99	3.05	3.08	3.12	3.16	3.21	3.25
11	3.30	3.34	3.39	3.44	3.48	3.55	3.58	3.62	3.67	3.72
12	3.76	3.81	3.86	3.91	3.96	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20
15	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70
14	4.75	4.81	4.86	4.91	4.96	5.01	5.07	5.12	5.17	5.22
15	5.28	5.35	5.38	5.44	5.49	5.55	5.60	5.65	5.71	5.76
16	5.82	5.87	5.95	5.98	6.04	6.10	6.15	6.21	6.26	6.32
17	6.38	6.44	6.49	6.55	6.61	6.66	6.72	6.78	6.84	6.90
18	6.95	7.01	7.07	7.15	7.19	7.25	7.31	7.37	7.45	7.49
19	7.55	7.61	7.67	7.75	7.79	7.85	7.91	7.97	8.05	8.10
20	8.16	8.22	8.28	8.34	8.41	8.47	8.55	8.59	8.66	8.72
21	8.78	8.85	8.91	8.97	9.04	9.10	9.17	9.25	9.29	9.36
22	9.42	9.49	9.55	9.62	9.68	9.75	9.82	9.88	9.95	10.01
23	10.08	10.15	10.21	10.30	10.35	10.41	10.48	10.55	10.62	10.68
24	10.75	10.82	10.89	10.95	11.02	11.09	11.16	11.25	11.30	11.37
25	11.44	11.50	11.57	11.64	11.71	11.78	11.85	11.92	11.99	12.06
26	12.15	12.21	12.28	12.35	12.42	12.49	12.56	12.65	12.70	12.78
27	12.85	12.92	12.99	13.07	13.14	13.21	13.28	13.36	13.45	13.50
28	13.58	13.65	13.72	13.80	13.87	13.94	14.02	14.09	14.17	14.24
29	14.32	14.39	14.47	14.54	14.62	14.69	14.77	14.84	14.92	14.99
30	15.07	15.15	15.22	15.30	15.38	15.45	15.53	15.61	15.68	15.76
31	15.84	15.92	15.99	16.07	16.15	16.25	16.30	16.38	16.46	16.54
32	16.62	16.70	16.78	16.85	16.95	17.01	17.09	17.17	17.25	17.35
33	17.41	17.49	17.57	17.65	17.75	17.81	17.89	17.97	18.05	18.15
34	18.22	18.30	18.38	18.46	18.54	18.62	18.70	18.79	18.87	18.95
35	19.05	19.11	19.20	19.28	19.36	19.45	19.55	19.61	19.69	19.78
36	19.86	19.95	20.05	20.11	20.20	20.28	20.36	20.45	20.55	20.62
37	20.70	20.79	20.87	20.96	21.04	21.15	21.21	21.30	21.58	21.47
38	21.56	21.64	21.75	21.81	21.90	21.99	22.07	22.16	22.25	22.55
39	22.42	22.51	22.59	22.68	22.77	22.86	22.95	25.05	25.12	25.21
40	23.30									

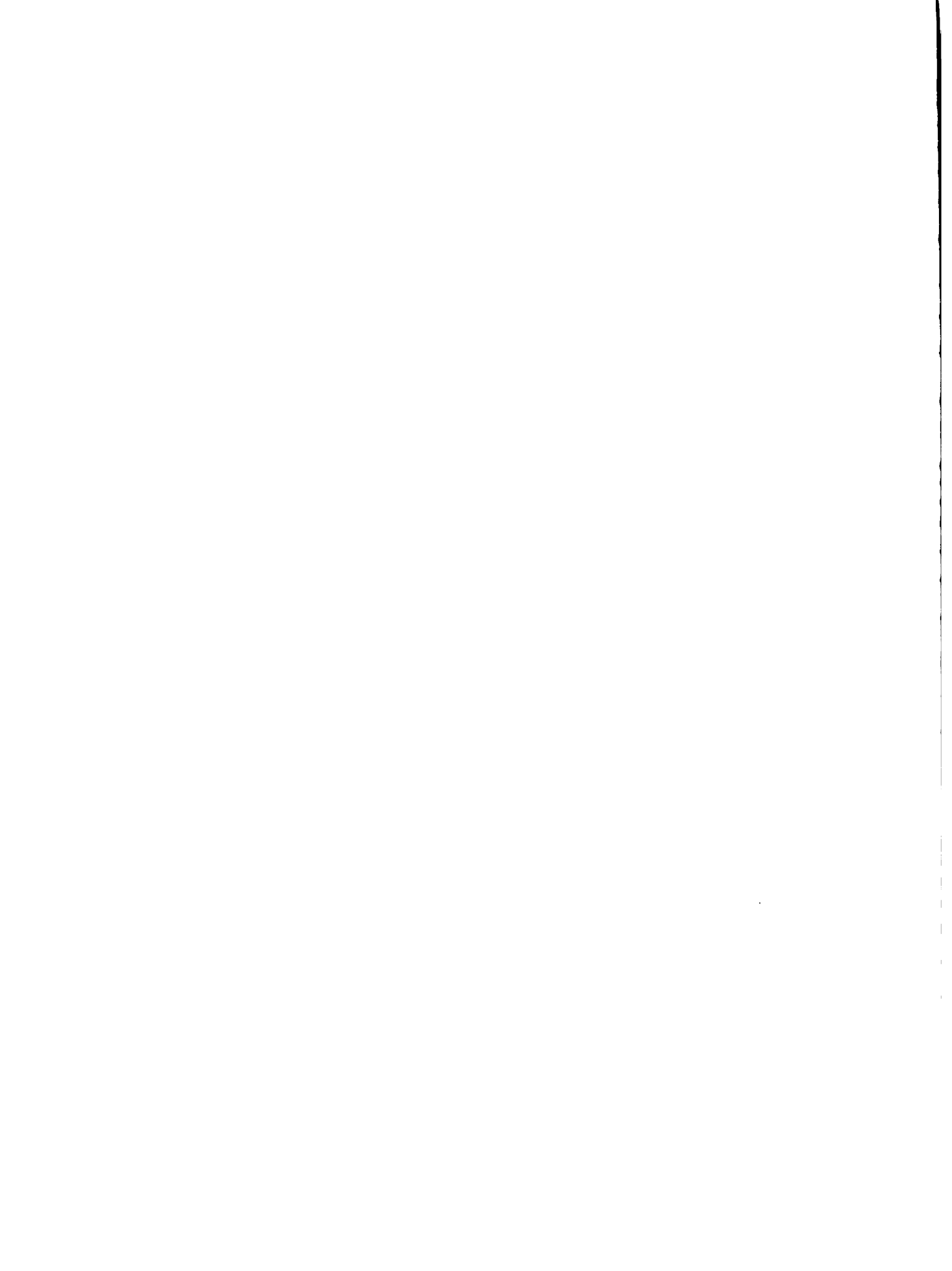
TABLA 2.— *Evapotranspiración potencial mensual sin ajustar con temperaturas superiores a 26.5 °C*

T °C	E. P. (mm)	T °C	E. P. (mm)
26.5	155.0	32.5	175.5
27.0	159.5	33.0	177.2
27.5	145.7	33.5	179.0
28.0	147.8	34.0	180.5
28.5	151.7	34.5	181.8
29.0	155.4	35.0	182.9
29.5	158.9	35.5	185.7
30.0	162.1	36.0	184.5
30.5	165.2	36.5	184.7
31.0	168.0	37.0	184.9
31.5	170.7	37.5	185.0
32.0	175.1	38.0	185.0

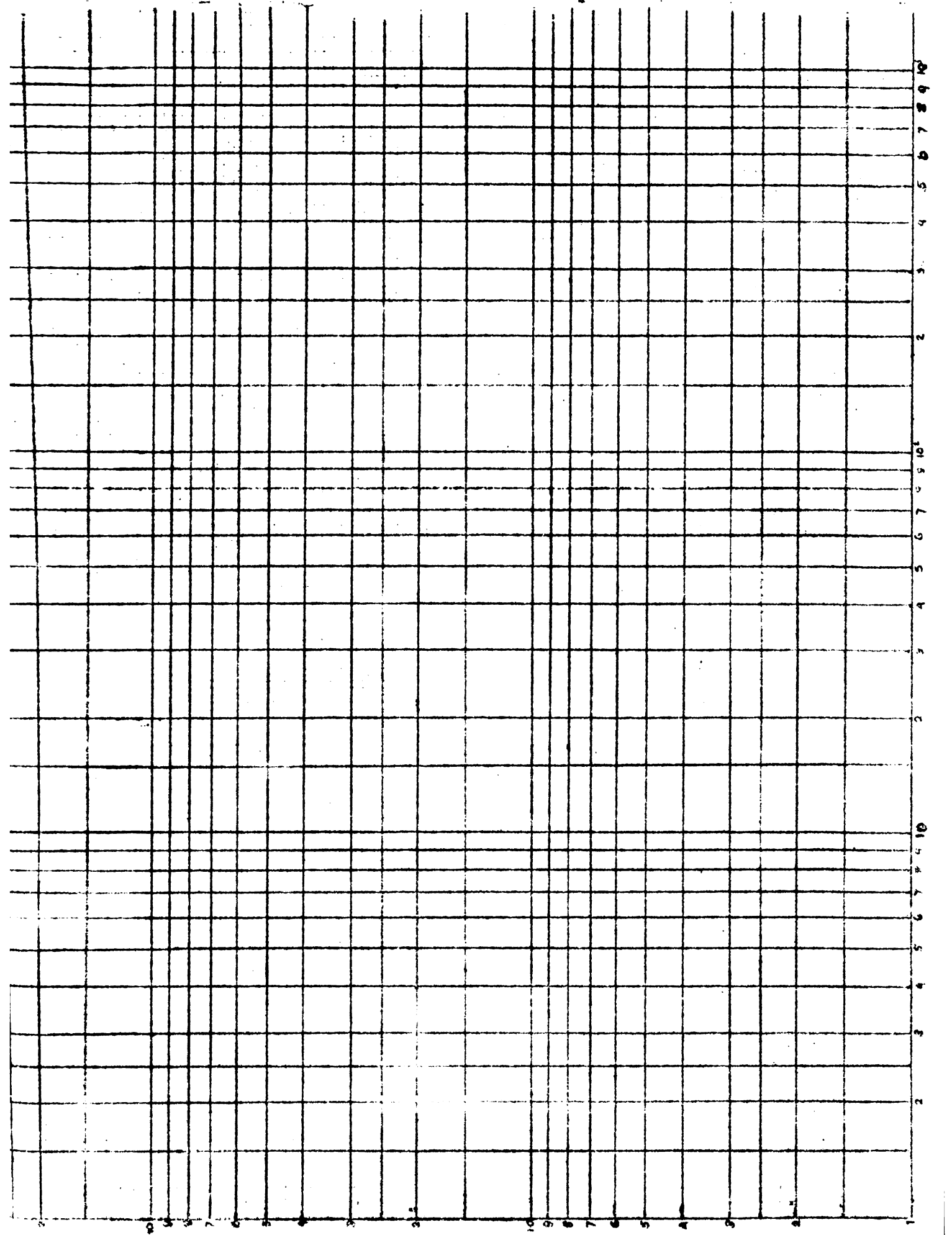


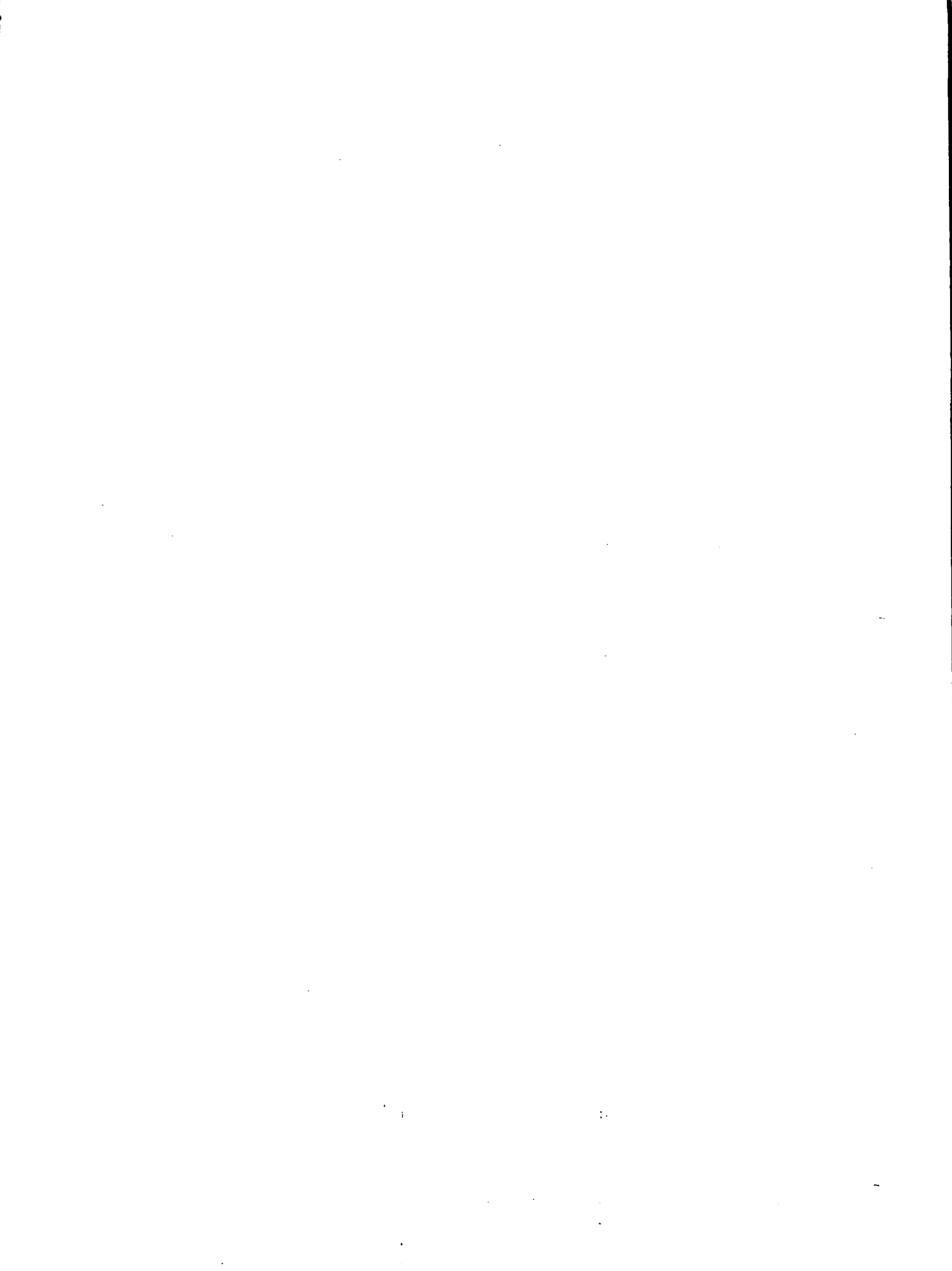
Tabla 3. — Duración media del resplandor solar posible en el hemisferio sur, expresado en unidades de 30 días de 12 horas cada uno

Latitud	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
5	1.06	.95	1.04	1.00	1.02	.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.05	1.06
10	1.08	.97	1.05	.99	1.01	.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	.98	1.05	.98	.98	.94	.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	.97	.95	.91	.95	.99	1.00	1.08	1.09	1.15
22	1.15	1.00	1.05	.97	.95	.90	.94	.99	1.00	1.09	1.10	1.16
23	1.16	1.01	1.05	.96	.94	.89	.95	.98	1.00	1.10	1.11	1.17
25	1.17	1.01	1.05	.96	.94	.88	.95	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
26	1.17	1.01	1.05	.96	.94	.87	.92	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
27	1.18	1.02	1.05	.96	.95	.87	.92	.97	1.00	1.11	1.12	1.19
28	1.19	1.02	1.06	.95	.95	.85	.91	.97	1.00	1.11	1.15	1.20
29	1.19	1.05	1.06	.95	.92	.89	.90	.96	1.00	1.12	1.15	1.20
30	1.20	1.05	1.06	.95	.92	.85	.90	.96	1.00	1.12	1.15	1.21
31	1.20	1.05	1.06	.95	.91	.84	.89	.96	1.00	1.12	1.14	1.22
32	1.21	1.05	1.06	.95	.91	.84	.89	.95	1.00	1.12	1.15	1.25
33	1.22	1.04	1.06	.94	.90	.85	.88	.95	1.00	1.13	1.16	1.25
34	1.22	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.15	1.16	1.24
35	1.25	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.15	1.17	1.25
36	1.24	1.04	1.06	.94	.88	.81	.86	.94	1.00	1.15	1.17	1.26
37	1.25	1.05	1.06	.94	.88	.80	.86	.95	1.00	1.14	1.18	1.27
38	1.25	1.05	1.07	.95	.87	.80	.85	.93	1.00	1.14	1.19	1.27
39	1.26	1.06	1.07	.95	.86	.79	.84	.92	1.00	1.15	1.19	1.28
40	1.27	1.06	1.07	.95	.86	.78	.84	.92	1.00	1.15	1.20	1.29
41	1.28	1.06	1.07	.95	.85	.77	.85	.92	1.00	1.15	1.21	1.30
42	1.28	1.07	1.07	.92	.85	.76	.82	.92	1.00	1.16	1.22	1.31
43	1.29	1.07	1.07	.92	.84	.75	.81	.91	1.00	1.16	1.22	1.32
44	1.30	1.08	1.07	.92	.85	.74	.81	.91	.99	1.17	1.23	1.35
45	1.31	1.09	1.07	.92	.82	.73	.80	.90	.99	1.17	1.24	1.34
46	1.32	1.10	1.07	.91	.82	.72	.79	.90	.99	1.17	1.25	1.35
47	1.33	1.11	1.07	.91	.81	.71	.78	.89	.99	1.18	1.26	1.36
48	1.34	1.11	1.08	.90	.80	.70	.76	.89	.99	1.18	1.27	1.37
49	1.35	1.12	1.08	.89	.78	.68	.75	.88	.99	1.19	1.28	1.40
50	1.37	1.12	1.08	.89	.77	.67	.74	.88	.99	1.19	1.29	1.41





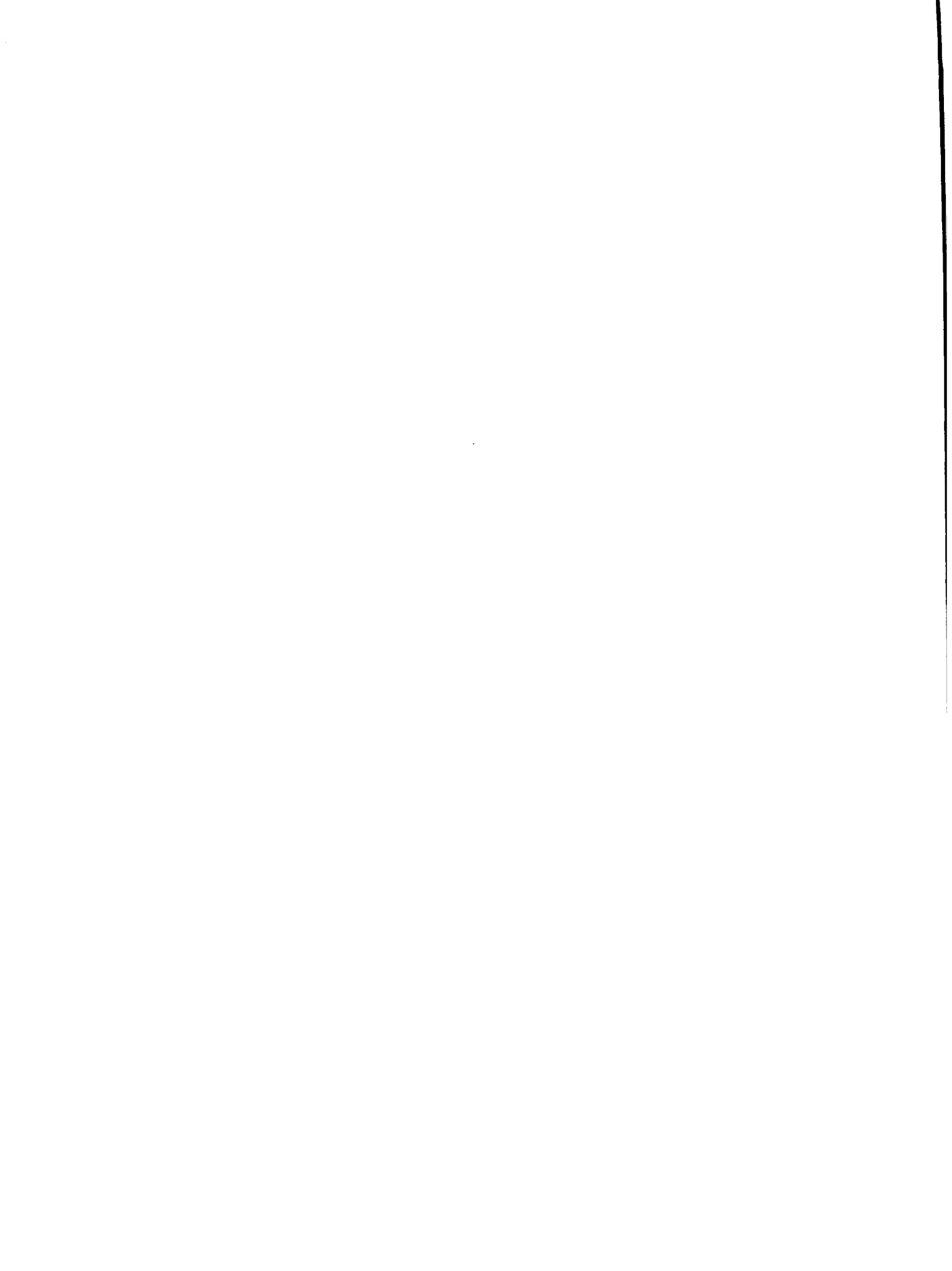




PROCEDIMIENTO

PARA LA OBTENCION DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL POR

LA FORMULA DE PAPADAKIS



EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

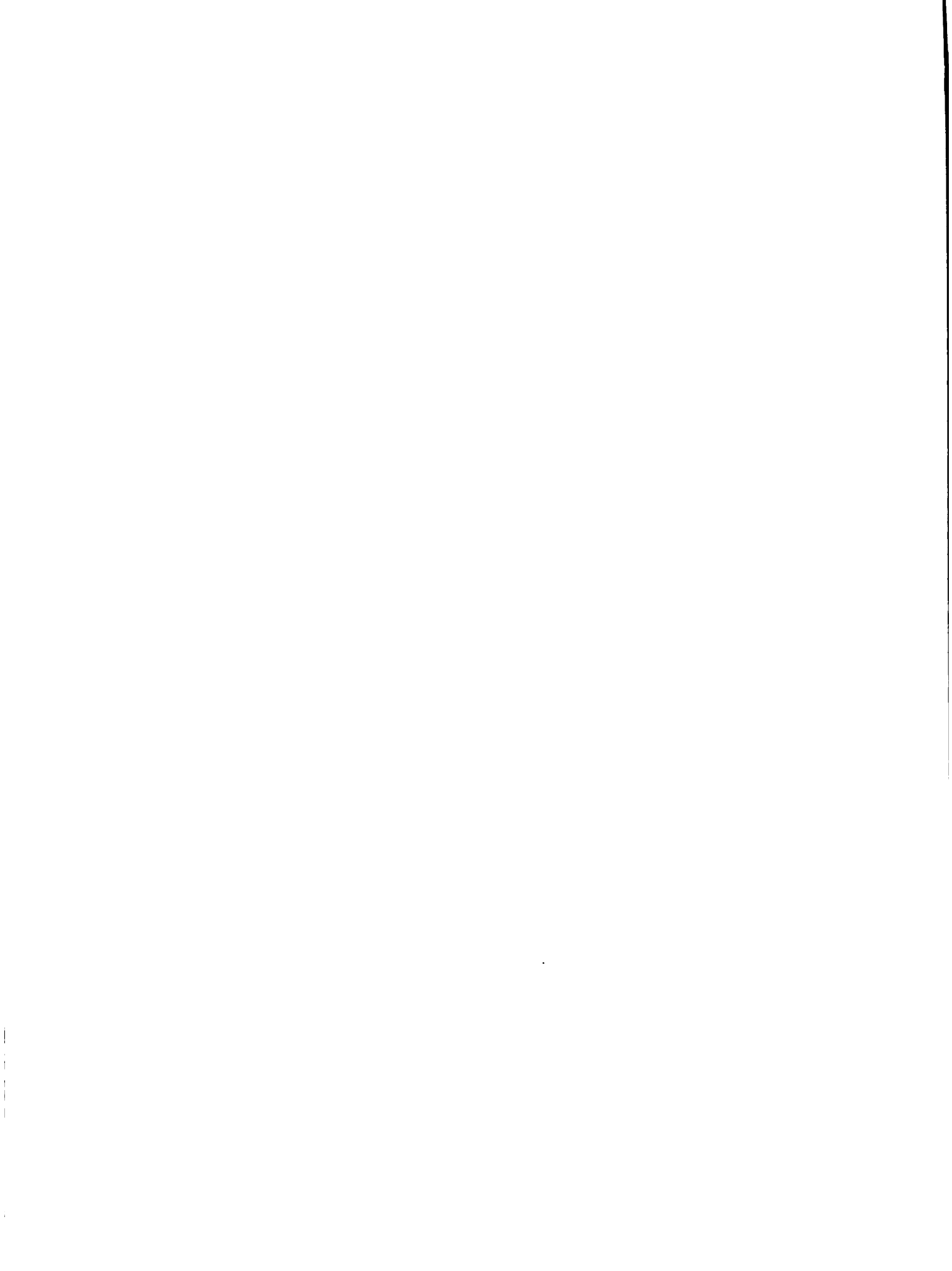
OBTENIDA POR EL PROCEDIMIENTO FAFAKIS.

Zona: \_\_\_\_\_

Fanillo N° \_\_\_\_\_

MESES	Temperatura mensual máxima °C	Tensión de vapor saturado (mb)	Tensión de vapor observada (mb)	E <sub>p</sub> 2,5625 (E <sub>p</sub> ) (cm)	E <sub>t</sub> (mm)
JULIO					
AGOSTO					
SETIEMBRE					
OCTUBRE					
NOVIEMBRE					
DICIEMBRE					
ENERO					
FEBRERO					
MARZO					
ABRIL					
MAYO					
JUNIO					
AÑO					

Valores promedio de \_\_\_\_\_ años



- TENSION DE VAPOR SATURADO -

Para uso en el desarrollo del Procedimiento PAPADAKIS.

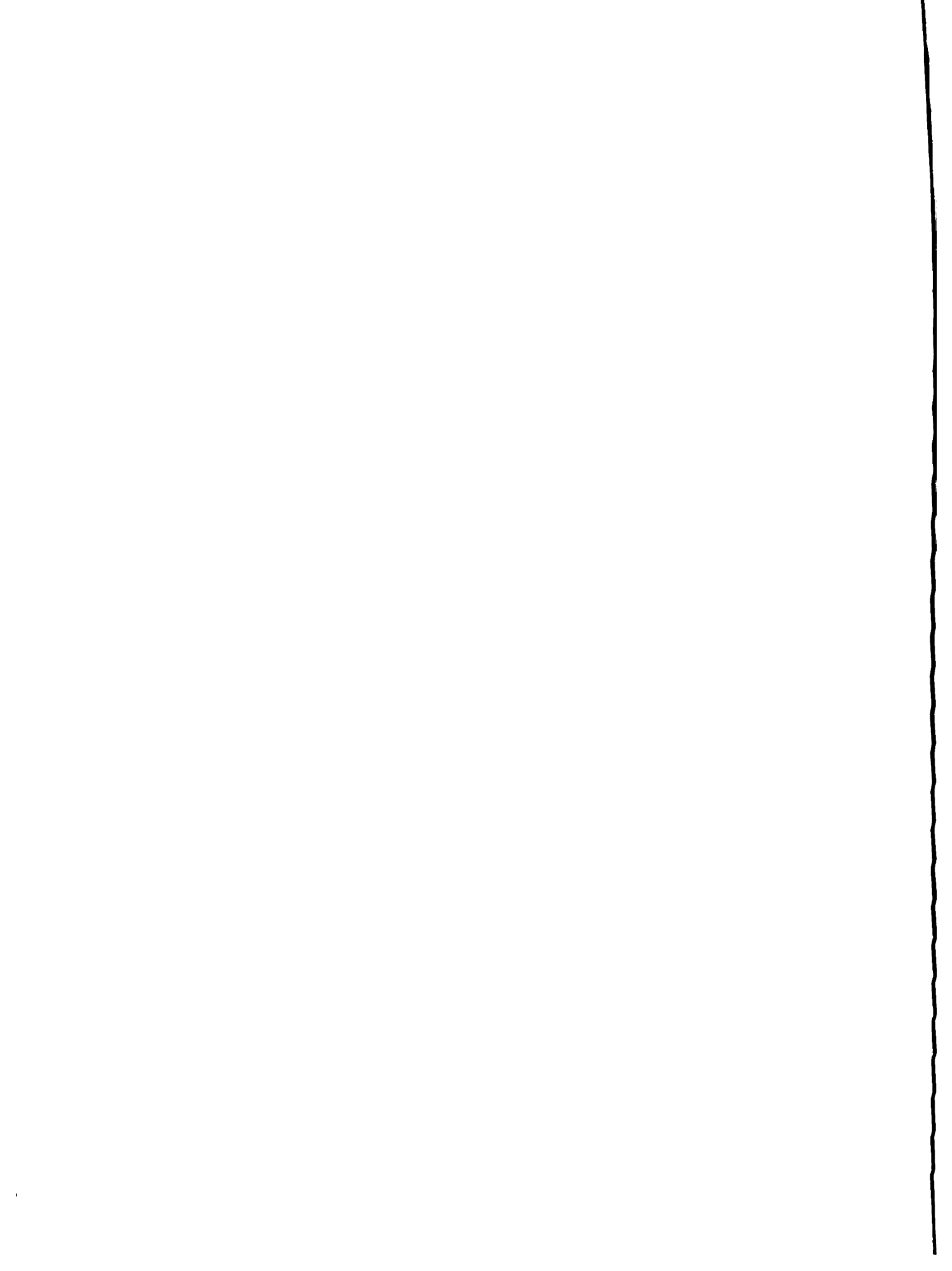
t°C	P Peso gr/100g	P Tensión mm.	t°C	P Peso gr/100g	P Tensión mm.	t°C	P Peso gr/100g	P Tensión mm.
-35	0,24	0,13	-10	2,2	2,4	15	12,6	12,6
-34	0,27	0,12	-9	2,3	2,3	16	13,3	13,6
-33	0,29	0,15	-8	2,5	2,7	17	14,5	14,5
-32	0,32	0,16	-7	2,7	3,0	18	15,5	15,4
-31	0,36	0,18	-6	2,9	3,2	19	16,5	16,3
-30	0,39	0,16	-5	3,2	3,4	20	17,5	17,2
-29	0,43	0,10	-4	3,4	3,7	21	18,7	18,4
-28	0,47	0,15	-3	3,7	3,9	22	19,8	19,5
-27	0,51	0,10	-2	4,0	4,2	23	21,1	20,6
-26	0,56	0,05	-1	4,3	4,5	24	22,4	21,8
-25	0,61	0,11	0	4,6	4,9	25	23,8	23,1
-24	0,67	0,17	1	4,9	5,2	26	25,2	24,4
-23	0,73	0,24	2	5,3	5,6	27	26,7	25,8
-22	0,80	0,32	3	5,7	6,0	28	28,1	27,3
-21	0,88	0,41	4	6,1	6,4	29	29,6	28,8
-20	0,96	0,51	5	6,5	6,8	30	31,0	30,1
-19	1,0	0,62	6	7,0	7,2	31	32,7	31,7
-18	1,1	0,74	7	7,5	7,6	32	34,7	33,6
-17	1,2	0,87	8	8,0	8,1	33	36,7	35,7
-16	1,3	1,0	9	8,6	8,6	34	38,9	37,6
-15	1,4	1,1	10	9,2	9,1	35	42,2	39,6
-14	1,6	1,3	11	9,8	10,0	36	44,6	41,8
-13	1,7	1,5	12	10,5	10,7	37	47,1	44,0
-12	1,8	1,7	13	11,2	11,4	38	49,7	46,3
-11	2,0	2,0	14	12,0	12,1	39	52,5	48,7
						40	55,3	51,2

Datos para conversión

760 mm. = 1013 mb.

mm. a mb. : multiplicar por 1,34

mb. a mm. : multiplicar por 0,75

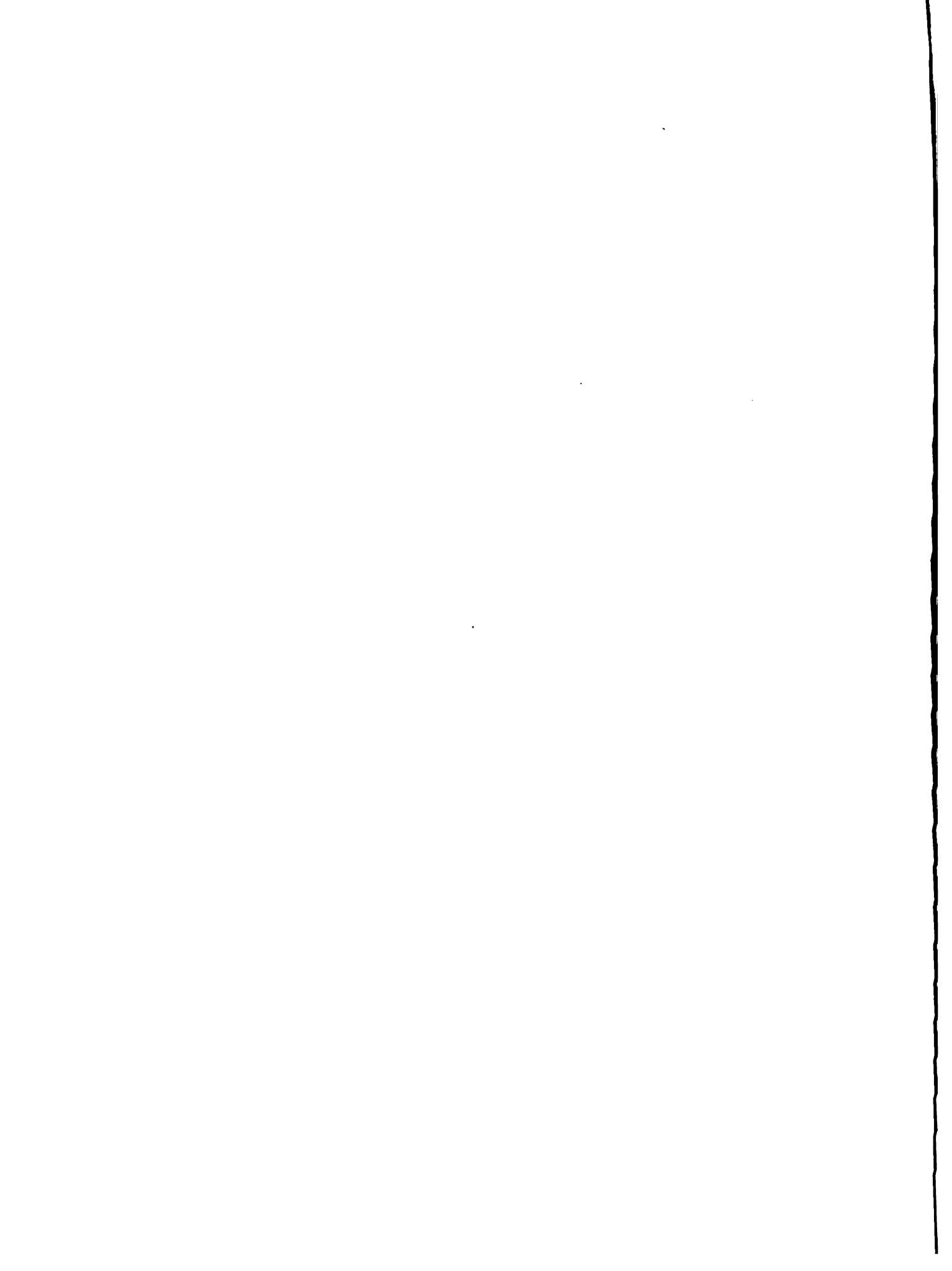




PROCEDIMIENTO

DEL USO CONSUNTIVO DE LOS CULTIVOS POR LA FORMULA DE

BLANEY Y CRIDDLE



PROCEDIMIENTO BLANEY Y CRIDDLE AJUSTADO PARA EL CALCULO DEL USO CONSUNTIVO

En forma resumida el procedimiento para hallar el uso consuntivo, la lámina neta y el requerimiento de riego, es el siguiente:

- 1.- Se obtiene la temperatura media mensual en  $^{\circ}\text{C}$  para la zona considerada (puede ser promedios puntuales).
- 2.- Se logra el factor "ta" (temperatura expresada en  $^{\circ}\text{C}$ ) que se refiere a la adaptación del método para uso en el cálculo de la temperatura expresada en  $^{\circ}\text{C}$ . Se ha considerado a su vez una corrección por factor luminosidad y temperatura:  $Kt$  quedando:  
 $ta = Kt (t + 17,8 / 21, 8)$ . La resolución se lleva a cabo por el Cuadro II.
- 3.- Se obtiene el valor de "p" (insolación o resplandor solar) de la tabla respectiva para zonas de latitud sur ( Cuadro III) o de registro de estaciones meteorológicas.

Se entra con la latitud de la zona considerada y se obtiene los valores correspondientes de "p" mensuales,. En los casos necesarios se procede a interpolar el valor considerado entre dos grados de latitud.

- 4.- Se halla el factor "f" corregido (factor de Uso Consuntivo mensual), es decir, el producto de los valores de "p" por el anteriormente obtenido de la "ta". Este valor por 10 es = a U.C. potencial en mm.
- 5.- Se consigna el coeficiente de ajuste K de cultivo, el que se obtiene de la tabla incluida en el Cuadro I, base para la aplicación del método.
- 6.- Se halla el Uso Consuntivo mensual del cultivo , expresado en mm. de lámina para lo cual se aplica la fórmula general:

$$\text{U.C.} = f \text{ corregido. } K. 10 \text{ ( en mm.)}$$

- 7.- Se consigna y calcula la precipitación efectiva, siempre dentro de los valores mensuales, aplicando un coeficiente de ajuste o corrección por escurrimiento cuyo valor es de  $1 - K_r$ , siendo  $K_r : 0,20$ , de modo tal que considerando la precipitación (P), el valor queda:

Precipitación efectiva:  $0,80 \cdot P$

Se conviene en ajustar la precipitación a partir del valor de 20 mm mensuales como mínimo. Menor o igual a esta cifra, se anotan sin corregir.

Otro procedimiento más exacto es emplear la curva de corrección para ajustar la precipitación total a precipitación efectiva que responde a una función, cuya gráfica se adjunta.

- 8.- Se calcula la lámina de reposición, asumiendo que la misma sería igual a:

$$\text{Lámina} = (U.C. - 0,80 P)$$

es decir, el valor del uso consuntivo mensual de cultivo hallado menos la precipitación ajustada, para igual período. Su sumatoria dará luego el valor anual.

- 9.- Se considera una eficiencia de manejo o U.C. asumida ( $E_f$ ) a fin de continuar con el cálculo y llegar al posible requerimiento total de riego, considerada como valor  $L/E_f$ .

A nivel de parcela, se tiene en cuenta en este cálculo, únicamente la eficiencia de aplicación y manejo que refleja una meta en la técnica de aplicación y uso del agua a la que se desea arribar mejorando la tecnología general del riego.

De acuerdo al sistema de riego empleado, a las características del cultivo y otros factores incidentes, se asume corrientemente una Eficiencia de aplicación comprendida entre el 50 a 75% para los sistemas de riego por gravedad.

- 10.- Con los elementos anteriores se calcula la lámina neta o requerimiento de riego, en forma mensual y, mediante su sumatoria, anual para todo el período considerado.

De acuerdo al cálculo así elaborado, los valores mensuales, sobre todo en los extremos del período o en los meses de mucha precipitación se hacen menores, como por ejemplo láminas de aplicación calculadas en 15, 25 ó 40 mm.

Con relación a este aspecto, la experiencia ha mostrado que en el riego corriente por gravedad, apelando a sistemas usuales, se debe tener en cuenta una lámina mínima de aplicación, bajo la cual no es posible físicamente distribuir el volumen considerado, por unidad de superficie.

De tal forma, valores menores a los 60 mm ( $600 \text{ m}^3/\text{Ha}$ ) no deberían ser considerados en el sistema de aplicación del agua por "bordos" o "amelgas" y, para el caso de los métodos de riego por surcos, las cifras inferiores a los 40 mm ( $400 \text{ m}^3/\text{Ha}$ ).

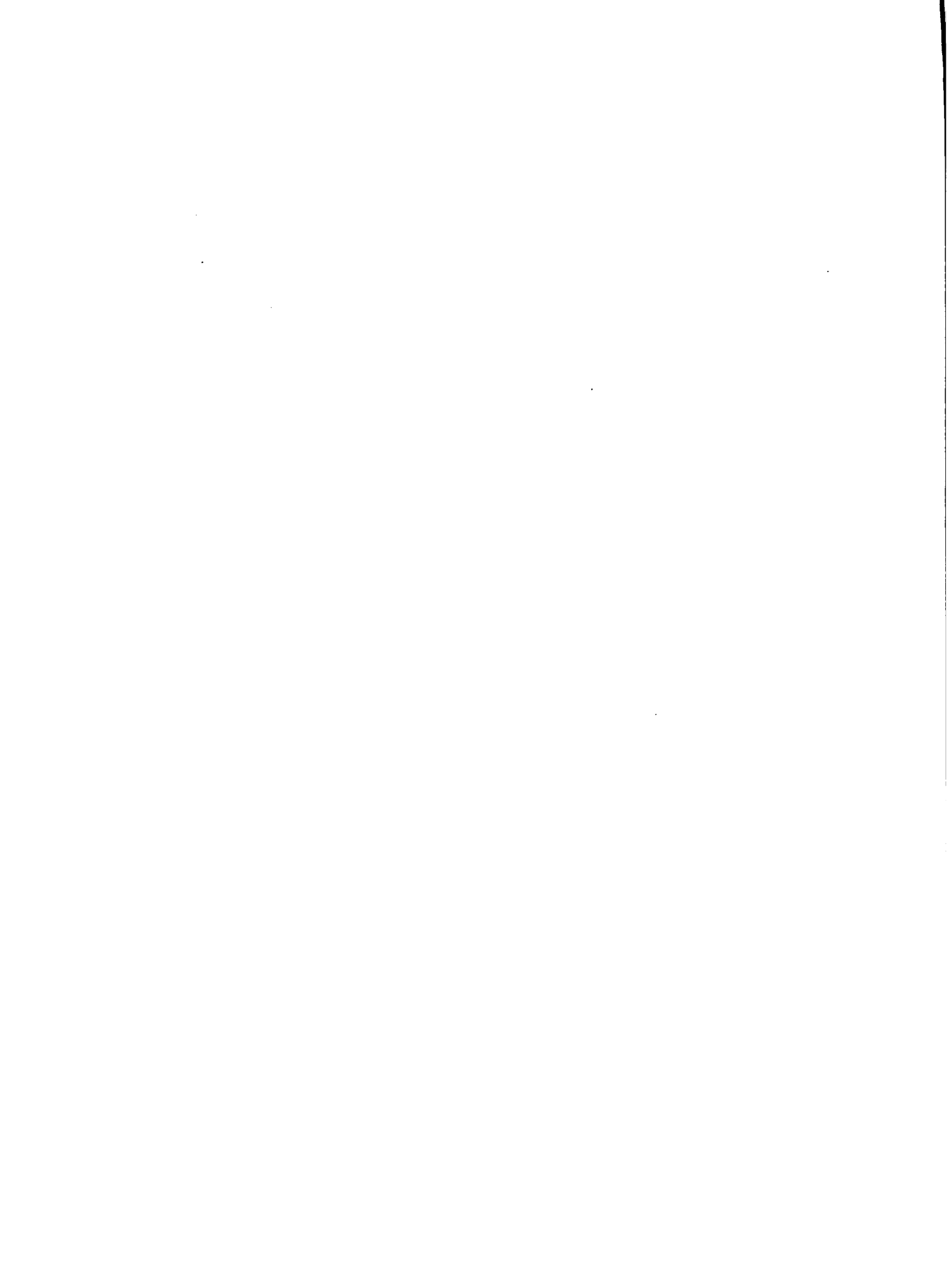
En consecuencia, los valores obtenidos por cálculo menores que las láminas mencionadas, según el sistema de riego adoptado, se ajustarán a dicho volumen mínimo por unidad de superficie.

Por el contrario, si el valor de cálculo fluctúa entre 5, 10 a 15 mm de lámina bruta (a nivel de parcela), es decir, 50, 100 o 150  $\text{m}^3/\text{Ha}$ , habrá que definir y analizar sobre la conveniencia de eliminar estas láminas y sus riegos correspondientes del listado anual, dado que las necesidades así planteadas sean mínimas.

A título ilustrativo, se consigna que en suelos sueltos, gruesos y permeables del valle Superior del Rio Negro (Argentina) por ejemplo, para el riego por bordos o amelgas se está considerando láminas no menores de 120 a 150 mm ( $1.200$  a  $1.500 \text{ m}^3/\text{Ha}$ ) en razón de la practicabilidad del riego y de las condiciones de eficiencia que se plantean en dicho medio.

Estas circunstancias pierden validez ante los sistemas de riego mecanizado (Aspersión por ejemplo), donde sí es factible aplicar láminas mínimas sin problemas. Con más razón aún en los sistemas de riego por Goteo, donde prácticamente no se considera las pérdidas por eficiencia en la aplicación o manejo a nivel de parcela.

---



**- ELEMENTOS PARA EL CALCULO DEL USO CONSUNTIVO EN LOS**

**CULTIVOS POR EL METODO DE BLANEY Y CRIDDLE**

**AJUSTADO -**

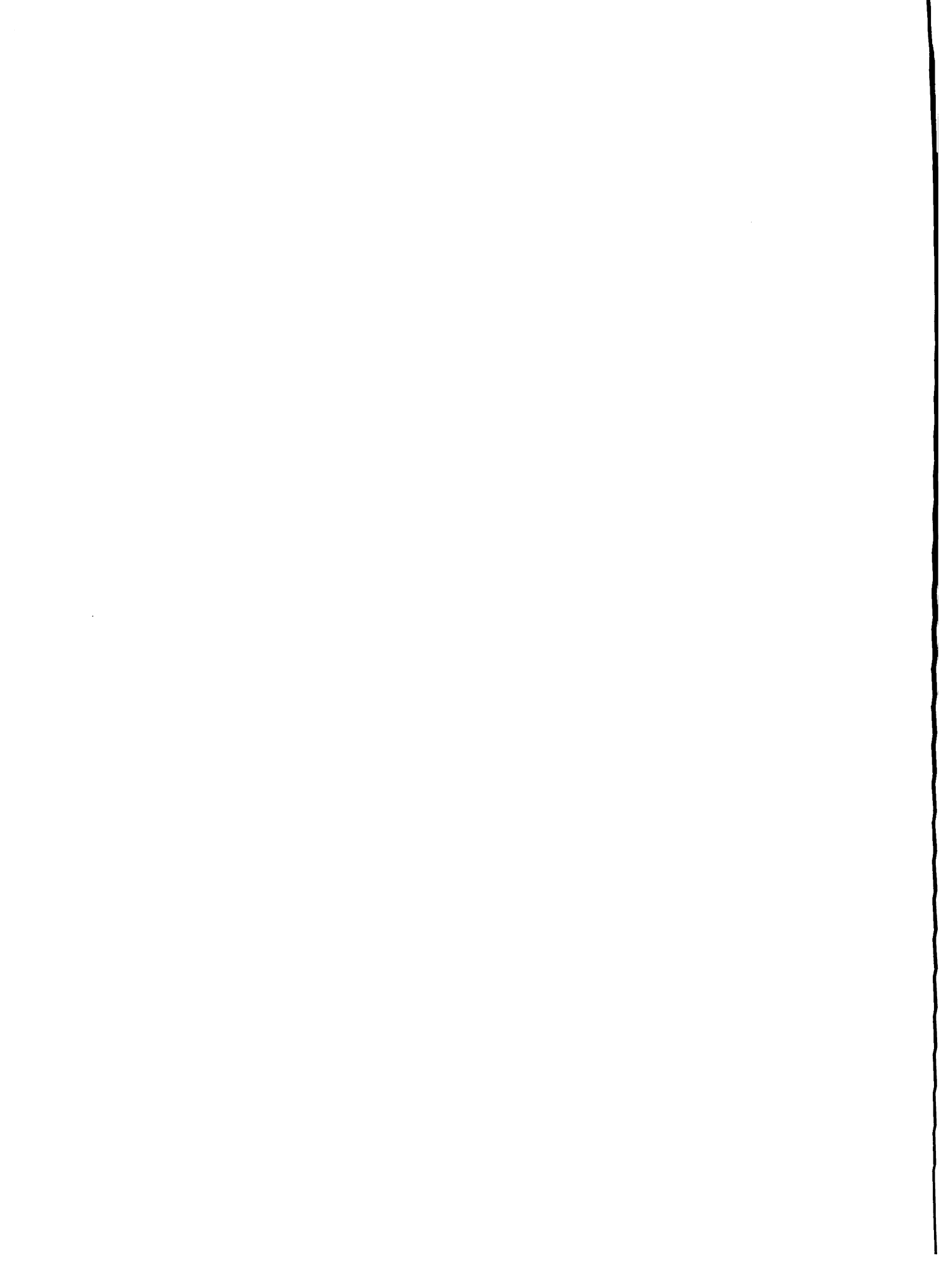
- **Cuadro I** : Coeficientes K de ajuste mensuales.
- **Cuadro II**: Resolución de la fórmula , donde interviene  $K_t$  , entrando con la temperatura media en °C.
- **Cuadro III**: Tabla de insolación o de resplandor solar(valores P)

CUADRO I

Coeficientes K de ajuste, mensuales y anuales, para diferentes cultivos basados en valores de Kc determinados en Cal. U. S. A. y ajustados con posterioridad en Mexico (S. R. H.) y Argentina (U.N.S.)

Cultivos	Ciclo asumido días	Coeficientes K Mensuales												Valor de K Anual
		Jan.	Jul.	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	
Alfalfa .....	240 a 300	--	--	0,66	0,83	0,95	1,03	1,08	1,06	1,00	0,91	0,76	0,60	0,89
Vid .....	160 a 180	--	--	--	0,35	0,49	0,74	0,89	0,90	0,82	0,70	0,50	0,50	0,61
Frutal menor distancia.... (Durazno Ciruelo)	200 a 220	--	--	--	0,39	0,62	0,87	0,95	0,94	0,81	0,57	0,32	--	0,63
Frutal Mayor distancia.... (Manzano peral)	200 a 220	--	--	--	0,36	0,51	0,82	0,92	0,89	0,81	0,62	0,36	--	0,62
Mats .....	140 a 160	--	--	--	--	0,49	0,66	0,82	0,91	0,92	0,85	--	--	0,77
Sorgo para ensillar .....	130 a 160	--	--	--	--	0,58	0,83	0,97	1,02	0,98	0,88	0,77	--	0,85
Pimiento.....	150 a 170	--	--	--	--	0,41	0,41	0,50	0,79	0,82	0,70	0,53	--	0,62
Tomate.....	150 a 180	--	--	--	--	0,40	0,40	0,59	0,93	0,97	0,77	0,54	--	0,70
Papa.....	140 a 160	--	--	--	--	0,38	0,58	0,82	0,93	1,00	0,85	--	--	0,76
Hortal. varied. menores... (Intensiva)	60 a 130	--	--	--	--	0,62	0,81	0,95	1,02	1,00	0,93	0,84	--	0,88
Poroto Arveja .....	150	--	--	--	--	0,48	0,80	0,93	10,4	0,94	0,77	--	--	0,82
Pastos regados.....	280	--	--	0,58	0,71	0,82	0,89	0,91	0,92	0,90	0,86	0,78	0,67	0,80
Algodón .....	140 a 180	--	--	--	--	0,34	0,46	0,62	0,99	0,95	0,74	0,70	--	0,71
Tabaco.....	140 a 160	--	--	--	--	0,41	0,41	0,64	0,89	1,06	1,04	--	--	0,81
Olivo.....	180 a 240	--	--	--	--	0,18	0,32	0,58	0,76	0,80	0,72	0,52	0,34	0,52
Kegal tipo general.....	160 a 220	--	--	0,18	0,25	0,44	0,64	0,80	0,86	0,78	0,60	0,40	0,25	0,52
C <sub>o</sub> para 300 d. (Grassi) ...	300	--	--	0,32	0,55	0,74	0,87	0,96	1,00	0,98	0,93	0,72	0,66	0,78

Los coeficientes se han situado dentro del período anual de acuerdo al ciclo vegetativo medio, (centro y centro-sur del país) según la zona, el grupo de coeficiente K tomados pueden adelantarse o atrasarse para los meses de cultivo que corresponda.

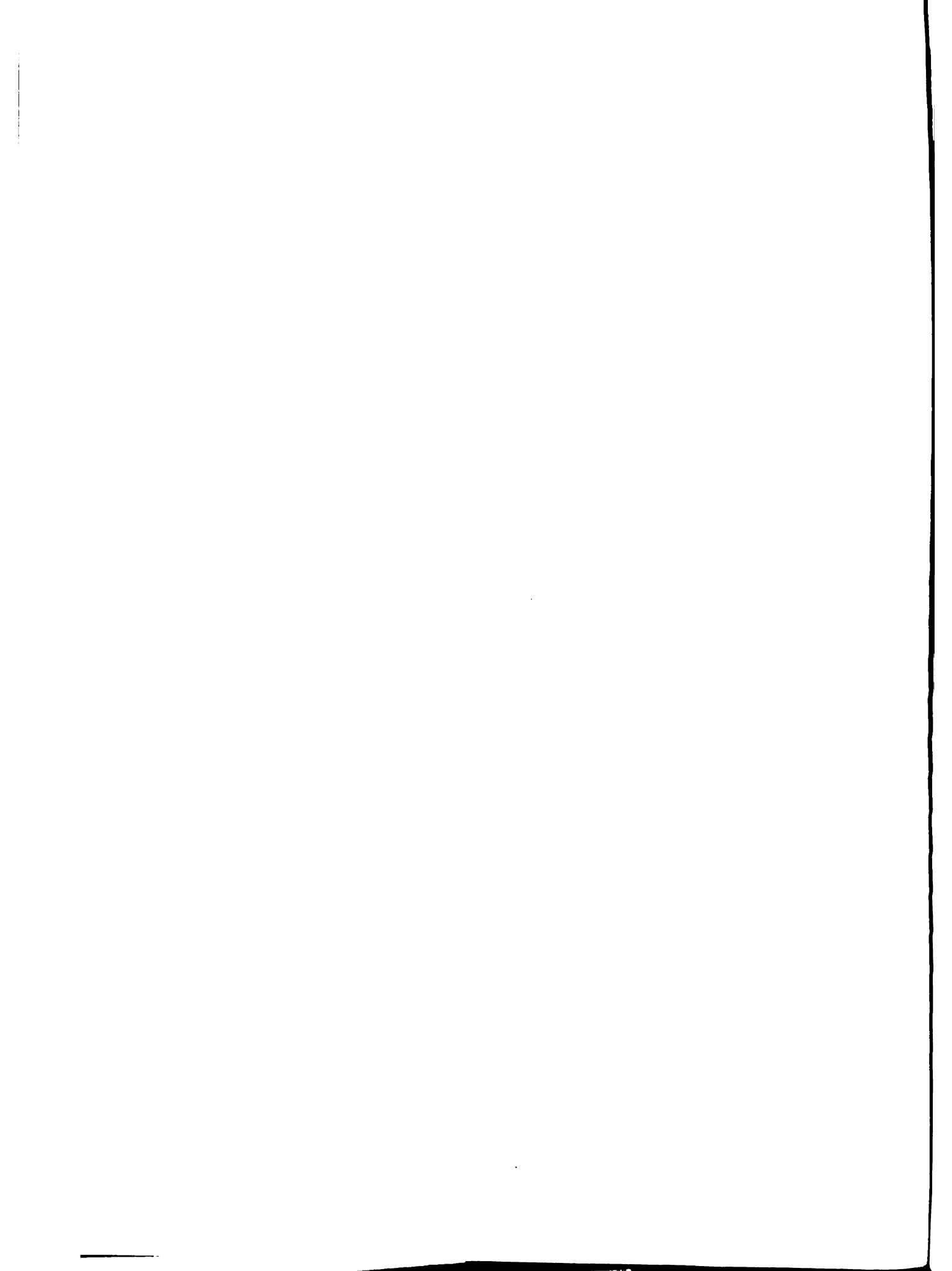




CUADRO II

Valores para la formula:  $K_t \left( \frac{t+17.8}{-21.8} \right)$  Entrando al cuadro con la temperatura media en °C

°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
7.....	0,520	0,526	0,531	0,537	0,543	0,549	0,554	0,560	0,566	0,572
8.....	0,558	0,564	0,570	0,576	0,582	0,588	0,594	0,600	0,606	0,612
9.....	0,638	0,643	0,651	0,657	0,664	0,670	0,676	0,682	0,689	0,696
10.....	0,702	0,708	0,715	0,722	0,729	0,735	0,742	0,748	0,755	0,762
11.....	0,768	0,775	0,782	0,789	0,796	0,803	0,810	0,817	0,824	0,830
12.....	0,838	0,845	0,852	0,859	0,866	0,874	0,880	0,889	0,895	0,902
13.....	0,910	0,917	0,925	0,932	0,939	0,947	0,954	0,962	0,970	0,977
14.....	0,985	0,992	1,000	1,008	1,016	1,024	1,031	1,039	1,047	1,055
15.....	1,063	1,071	1,079	1,086	1,095	1,103	1,111	1,119	1,127	1,135
16.....	1,143	1,152	1,160	1,168	1,175	1,185	1,193	1,202	1,210	1,210
17.....	1,227	1,235	1,244	1,253	1,262	1,270	1,279	1,287	1,296	1,305
18.....	1,313	1,322	1,331	1,340	1,349	1,357	1,367	1,375	1,385	1,393
19.....	1,403	1,412	1,421	1,430	1,439	1,448	1,458	1,467	1,476	1,485
20.....	1,495	1,505	1,513	1,523	1,533	1,542	1,551	1,561	1,571	1,580
21.....	1,590	1,600	1,609	1,619	1,629	1,639	1,648	1,658	1,668	1,678
22.....	1,688	1,598	1,708	1,717	1,728	1,738	1,748	1,758	1,768	1,779
23.....	1,789	1,800	1,810	1,820	1,830	1,840	1,856	1,860	1,871	1,882
24.....	1,892	1,903	1,914	1,924	1,935	1,945	1,956	1,968	1,977	1,988
25.....	1,999	2,010	2,020	2,031	2,042	2,053	2,064	2,075	2,086	2,096
26.....	2,108	2,119	2,130	2,141	2,153	2,164	2,175	2,186	2,198	2,208
27.....	2,220	2,232	2,243	2,255	2,265	2,277	2,289	2,300	2,312	2,323
28.....	2,335	2,345	2,358	2,370	2,382	2,394	2,405	2,417	2,430	2,441
29.....	2,458	2,464	2,477	2,489	2,500	2,513	2,525	2,537	2,549	2,561
30.....	2,574	2,586	2,598	2,610	2,623	2,635	2,647	2,660	2,672	2,685

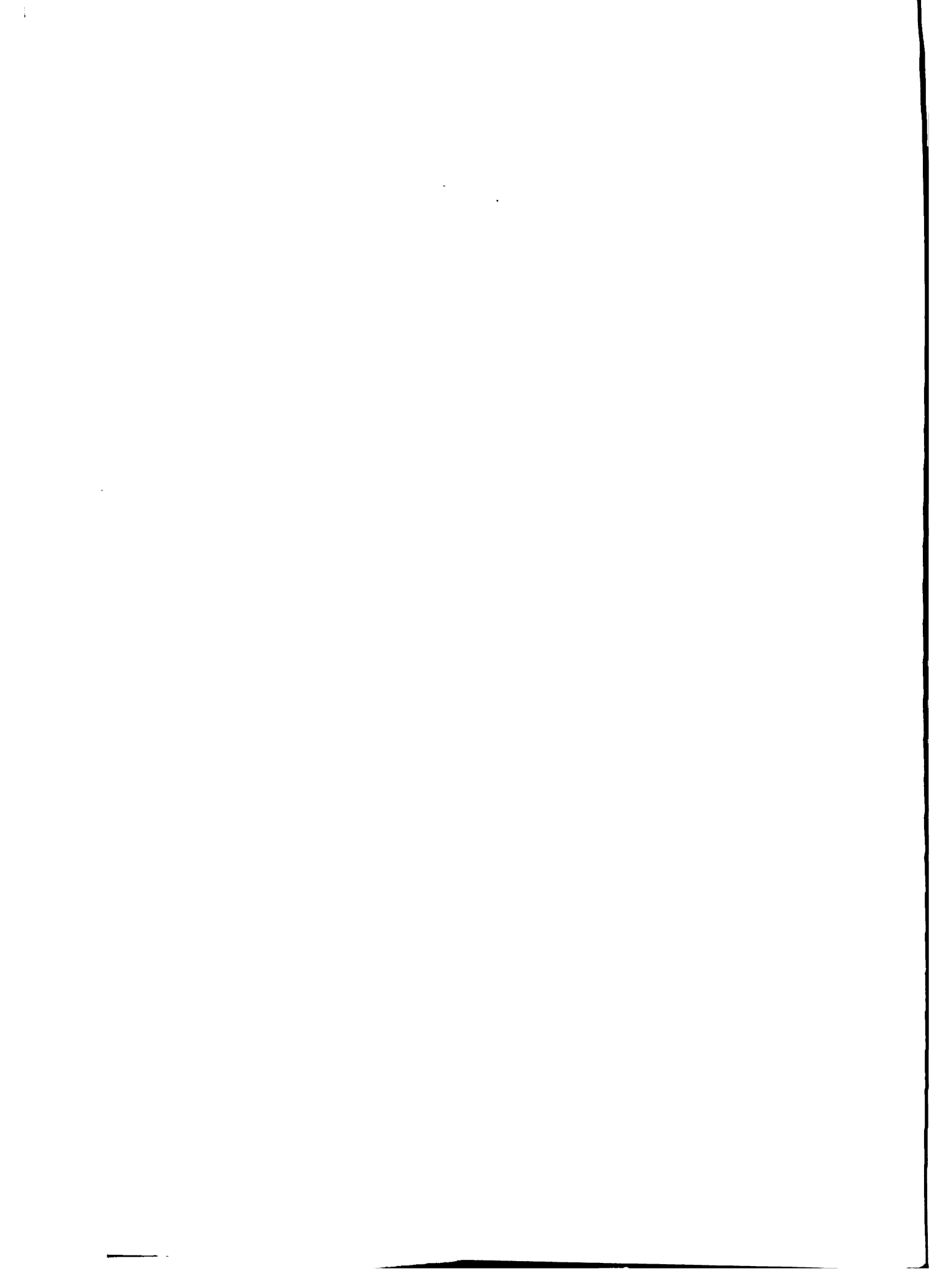


CUADRO III

Tabla de inspección e respaldar solar valores P.

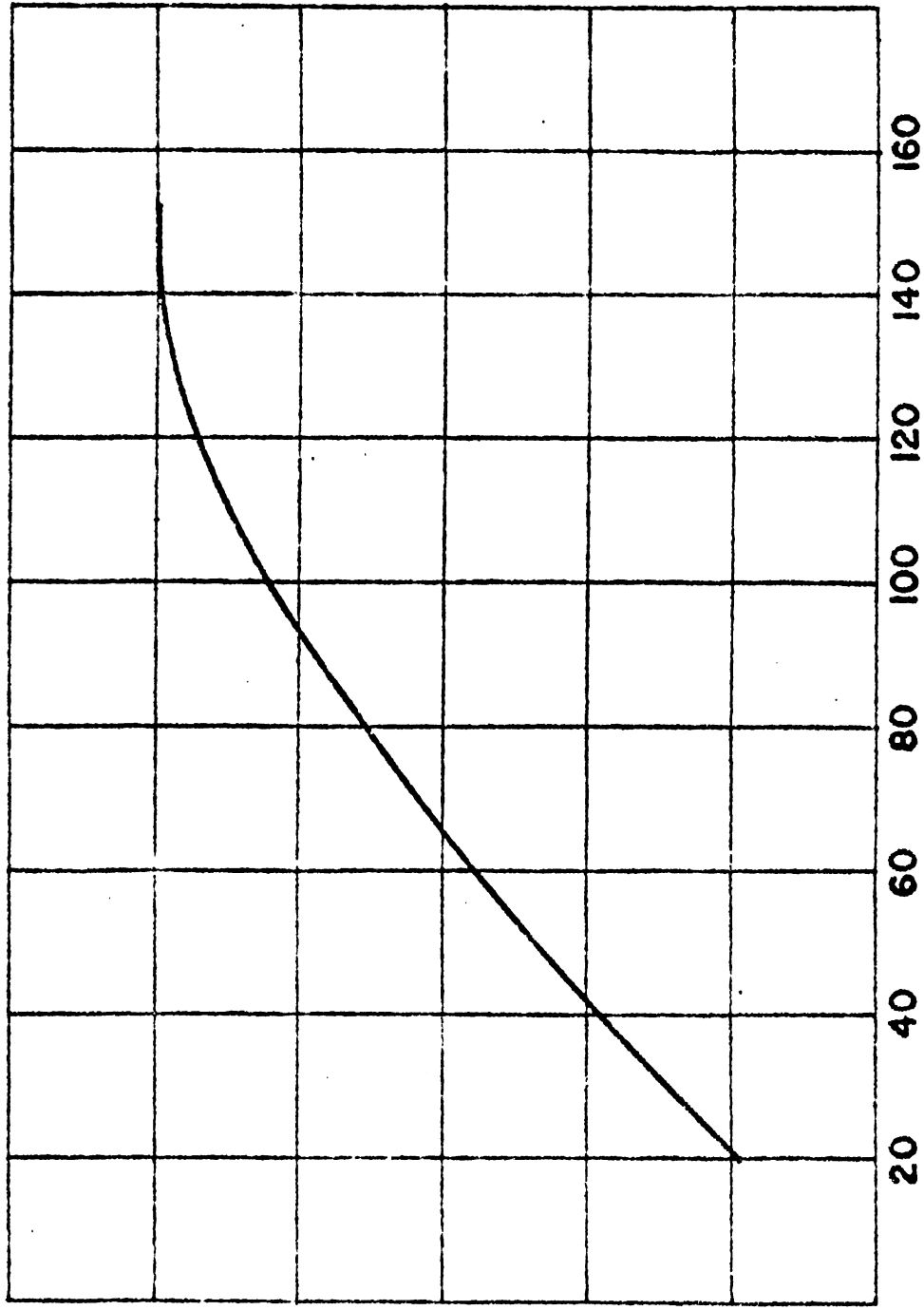
Para Grados de latitud Sur	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0.....	8,49	7,67	8,49	8,22	8,49	8,49	8,49	8,49	8,19	8,49	8,22	8,49
2.....	8,55	7,71	8,49	8,19	8,44	8,17	8,43	8,44	8,19	8,52	8,24	8,55
4.....	8,64	7,76	8,50	8,17	8,39	8,08	8,20	8,41	8,19	8,56	8,33	8,65
6.....	8,71	7,81	8,50	8,12	8,30	8,00	8,19	8,37	8,18	8,59	8,38	8,74
8.....	8,79	7,84	8,51	8,11	8,24	7,91	3,13	8,32	8,18	8,62	8,47	8,84
10.....	8,85	7,86	8,52	8,09	8,18	7,84	8,11	8,28	8,18	8,65	8,52	8,96
12.....	8,91	7,91	8,53	8,06	8,15	7,79	8,08	8,26	8,17	8,67	8,58	8,95
14.....	8,97	7,97	8,54	8,03	8,07	7,70	7,08	8,19	8,16	8,69	8,65	9,01
16.....	9,09	8,02	8,56	7,98	7,96	7,57	7,91	8,14	8,14	8,76	8,72	9,17
18.....	9,18	8,06	8,57	7,93	7,99	7,05	7,88	8,90	8,14	8,80	8,80	9,24
20.....	9,25	8,09	8,58	7,92	7,83	7,41	7,73	8,05	8,13	8,83	8,85	9,32
22.....	9,36	8,12	8,58	7,89	7,74	7,30	7,75	8,03	0,13	8,6	8,90	9,38
24.....	9,44	8,17	8,59	7,87	7,60	7,24	7,52	7,99	8,12	8,89	8,96	9,47
26.....	9,52	8,28	8,00	7,81	7,56	7,07	7,49	7,87	8,11	8,94	9,10	9,61
28.....	9,61	8,31	8,61	7,79	7,49	6,99	6,40	7,85	8,10	8,97	9,19	9,73
30.....	9,69	8,33	8,63	7,75	7,43	6,94	7,30	7,80	8,09	9,00	9,24	9,80
32.....	9,76	8,36	8,63	7,70	7,39	6,85	7,20	7,73	8,08	9,04	9,31	9,87
34.....	9,88	8,41	8,65	7,68	7,30	6,73	7,10	7,69	8,06	9,07	9,38	9,99
36.....	10,05	8,53	8,67	7,61	7,10	6,59	6,99	7,59	8,08	9,15	8,51	10,21
38.....	10,14	8,61	8,68	7,59	7,03	6,46	6,87	7,51	8,03	9,19	9,60	10,34
40.....	10,24	8,65	8,70	7,54	6,95	6,33	6,73	7,46	8,04	9,23	9,69	10,42
42.....	10,39	8,72	8,71	7,49	6,85	6,20	6,60	7,39	8,01	9,27	9,79	10,57
44.....	10,52	8,81	8,72	7,44	6,73	6,04	6,45	7,30	8,00	9,34	9,91	10,72
46.....	10,68	8,88	8,73	7,39	6,61	5,87	6,30	7,21	7,98	9,41	10,03	10,90
48.....	10,85	8,98	8,76	7,32	6,45	5,69	6,13	7,12	7,96	9,47	19,17	11,09
50.....	11,03	9,06	8,77	7,25	6,31	5,46	5,98	7,03	7,95	9,53	10,32	11,30

IDIA - Febrero de 1970



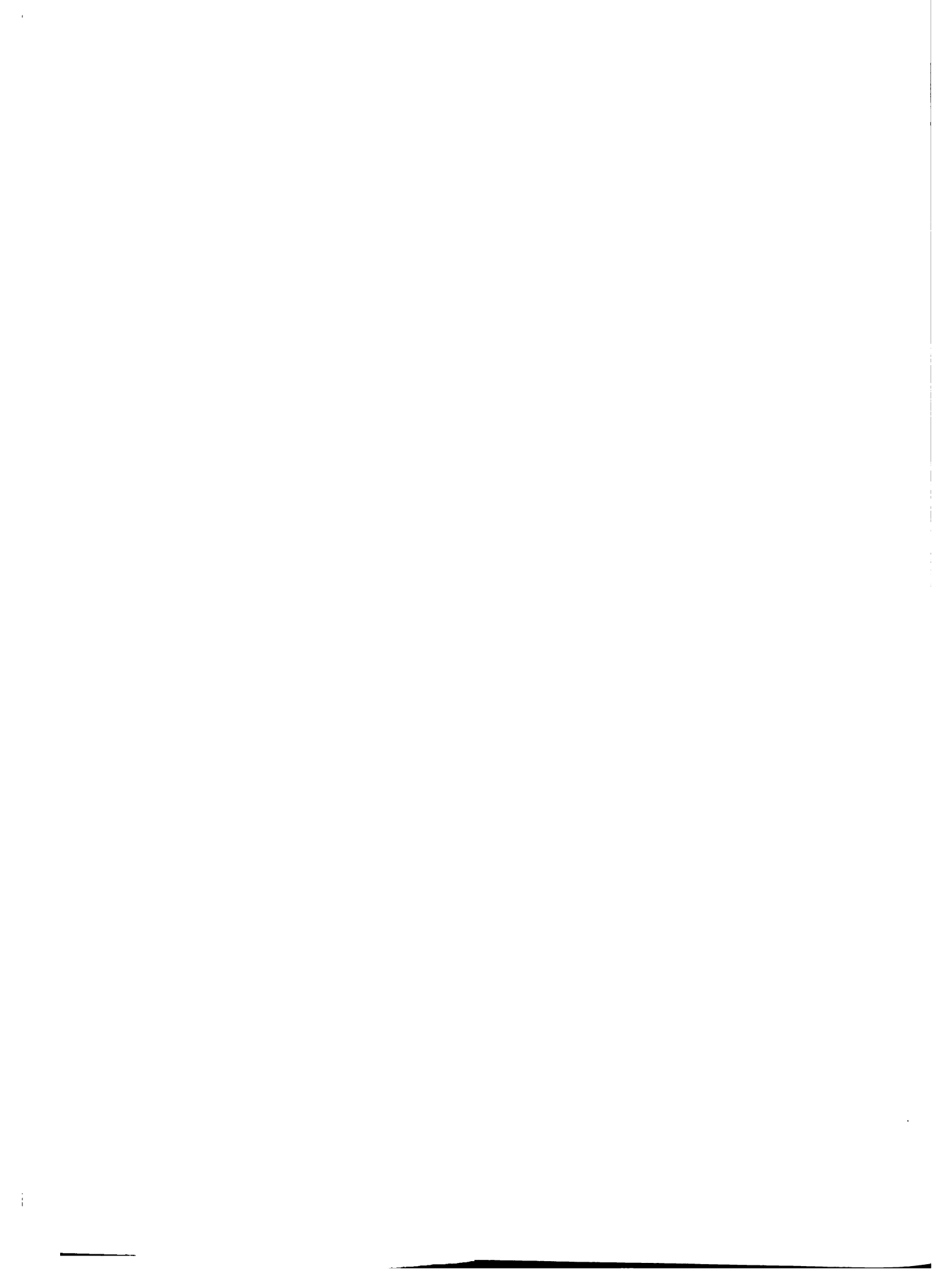
PRECIPITACION EFECTIVA SEGUN Blaney y Criddle (1962)

PRECIPITACION EFECTIVA MEDIA MENSUAL,  $P_e$ , mm



PRECIPITACION MEDIA MENSUAL, P, mm

FIG.



**USO CONSUMIVO; LAMINA Y CONSUMO TOTAL O REQUERIMIENTO DE RIEGO.**

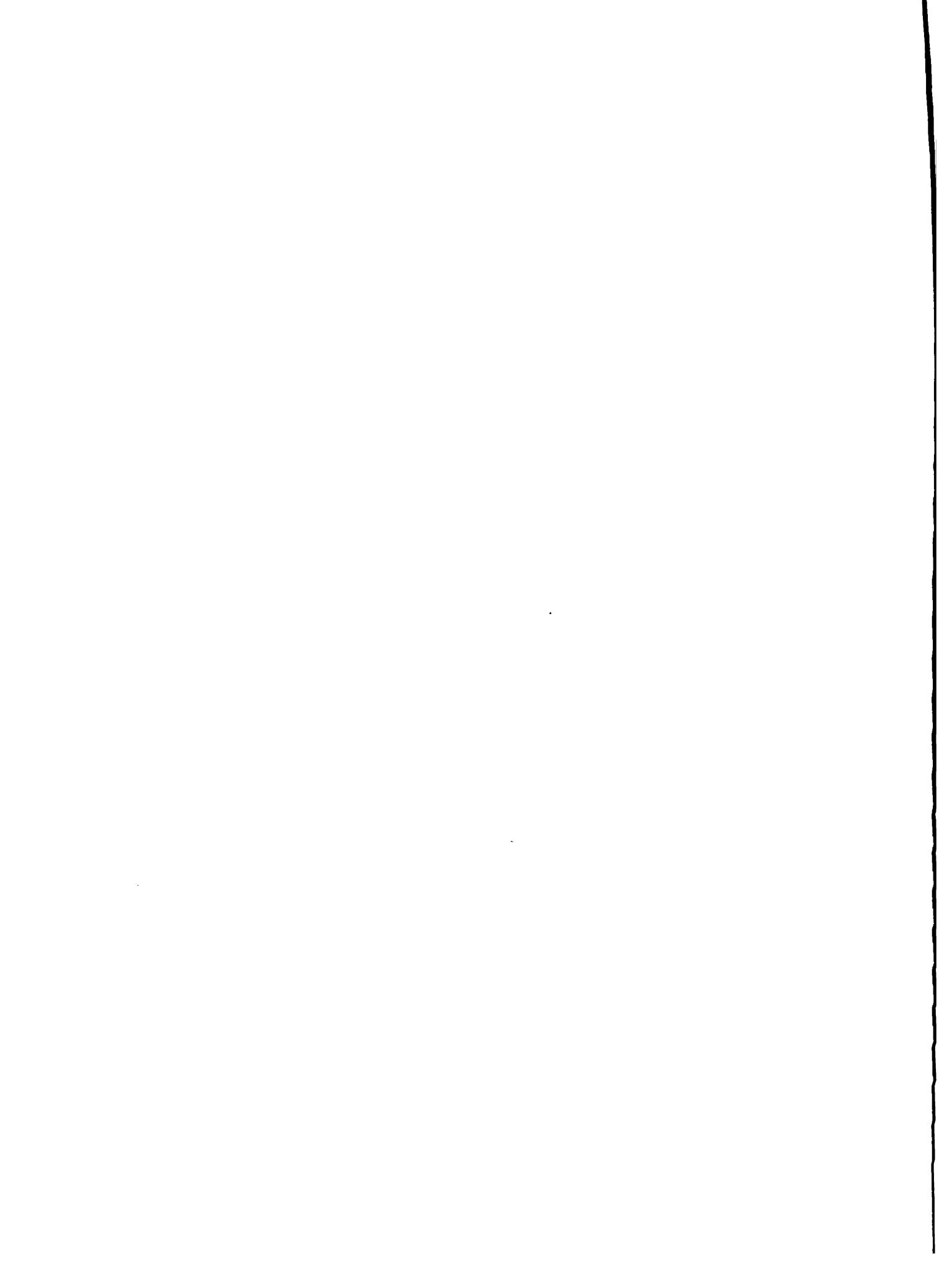
ZONA: \_\_\_\_\_

CULTIVO: \_\_\_\_\_

DISTRITO: \_\_\_\_\_

CUADRO N° \_\_\_\_\_

MESES	Temperatura Media °C	$t_e = \frac{(t_a + 17.8)}{21.8}$	F. corr. s (p. 10 = E <sub>t</sub> )	Coefficiente de Cultivo K.	U.C. Cultivo f corr. s K x 10 (mm)	Precipitación Efectiva (0.80 p) (mm)	Límite de Reposición (U.C. - 0.80 P)	CONSUMO NIVEL PARC. Lam/E s L. B. (mm)
ENERO								
FEBRERO								
MARZO								
ABRIL								
MAYO								
JUNIO								
JULIO								
AGOSTO								
SEPTIEMBRE								
OCTUBRE								
NOVIEMBRE								
DICIEMBRE								
AÑO								





PLANILLA RESUMEN DE REQUERIMIENTO DE RIEGO DE LOS CULTIVOS

Ejemplo

Valle Inferior del Rto Colorado, Argentina  
Cuadro N°

Procedimiento Blaney y Criddle ajustado

Cultivos	Requerimiento de Riego en mm. de L ó m m a												AÑO
	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	
<u>ALFALFA</u> bajo riego	-	60,00	60,00	85,11	182,43	231,14	265,22	175,00	111,22	60,00	60,00	-	1.290,
<u>VID</u> (Uva de mesa)	-	-	60,00	60,00	118,84	179,01	218,87	131,40	60,00	60,00	60,00	-	948,
<u>FRUTALES de</u> pepita	-	-	-	60,00	136,38	187,25	215,97	128,98	120,00	60,00	-	-	909,
<u>FRUTALES de</u> menor distancia	-	-	60,00	60,00	147,35	195,46	230,46	128,98	120,00	60,00	-	-	1.002,
<u>TOMATE</u>	-	-	-	120,00	120,00	148,82	227,55	167,73	60,00	60,00	-	-	904
<u>PIMENTO</u>	-	-	-	60,00	120,00	120,00	195,70	141,08	120,00	60,00	-	-	817,
<u>EXPL. HORTICOLAS</u> semi-intensivas	-	-	60,00	120,00	134,19	195,46	253,63	175,00	115,17	60,00	-	-	1.113,
<u>MAIZ</u>	-	-	-	60,00	101,31	159,81	221,76	155,62	60,00	-	-	-	758,
<u>CEREALES</u>	-	60,00	60,00	60,00	147,36	198,22	247,84	170,15	-	-	-	-	944,
<u>PASTOS RECADOS</u>	-	60,00	60,00	60,00	151,74	184,49	224,66	150,78	101,34	60,00	60,00	-	1.113



PROCEDIMIENTO

PARA HALLAR LA EVAPOTRANSPIRACION (Et) Y USO CONSUNTIVO

DE EXPLOTACIONES POR LA FORMULA HARGREAVES



### FORMULA DE HARGREAVES

La fórmula de Hargreaves permite calcular el Uso Consuntivo mensual, en función de la temperatura media, la humedad relativa media medio día, la duración del día dependiente de la latitud, coeficientes para diferentes cultivos y un factor adicional de corrección.

Su aplicación en unidades métricas y con temperatura en °C., se expresa:

$$E_t = 17,37 \cdot k \cdot d \cdot T \cdot (1,0 - 0,01 \cdot Hn)$$

de donde:  $E_t$ : evapotranspiración real en mm.  
k: coeficiente empírico de cultivo.  
d: coeficiente mensual de duración del día.  
T: temperatura media mensual.  
Hn: humedad relativa media al medio día.

El coeficiente está relacionado con el p de Blaney y Criddle (tablas), de modo que:

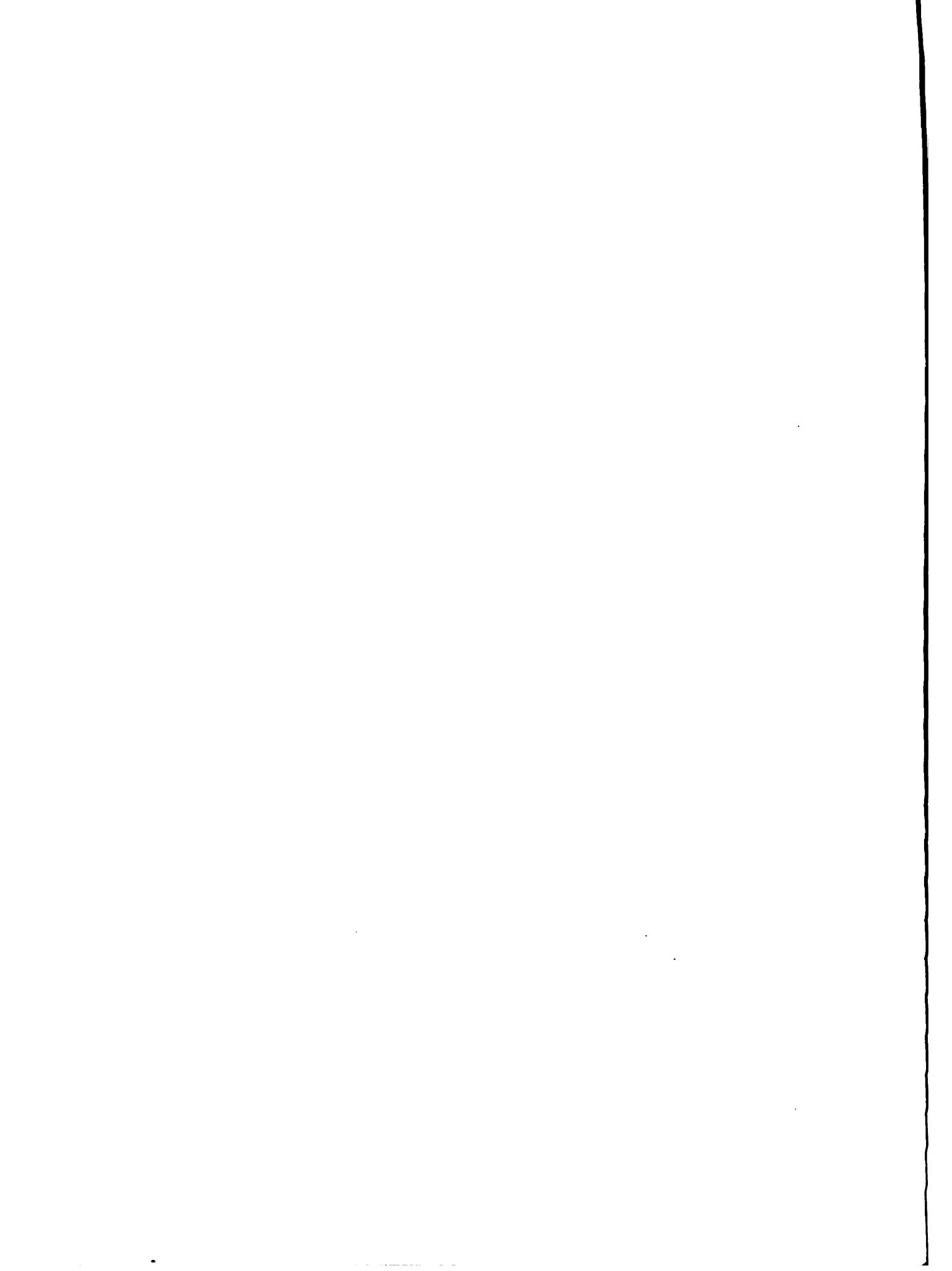
$$d = 0,12 \cdot p$$

Los valores de humedad relativa que generalmente se p $\u00u00fab$ lican en las estadísticas climatológicas ( S.M.N. ) corresponden a la medida diaria; Al Barrak (1964) ha obtenido una relación, según figura adjunta, entre dicho valor y la humedad relativa al medio día.

Los valores de K se consignan en tablas adjunta.

El desarrollo de esta fórmula ha sido concebida para condiciones meteorológicas medias, los resultados mejoran al ser afectados por factores de corrección según Hargreaves (1966): 1. Efecto de la velocidad del viento; 2. Duración del resplandor solar; 3. Altitud.

---

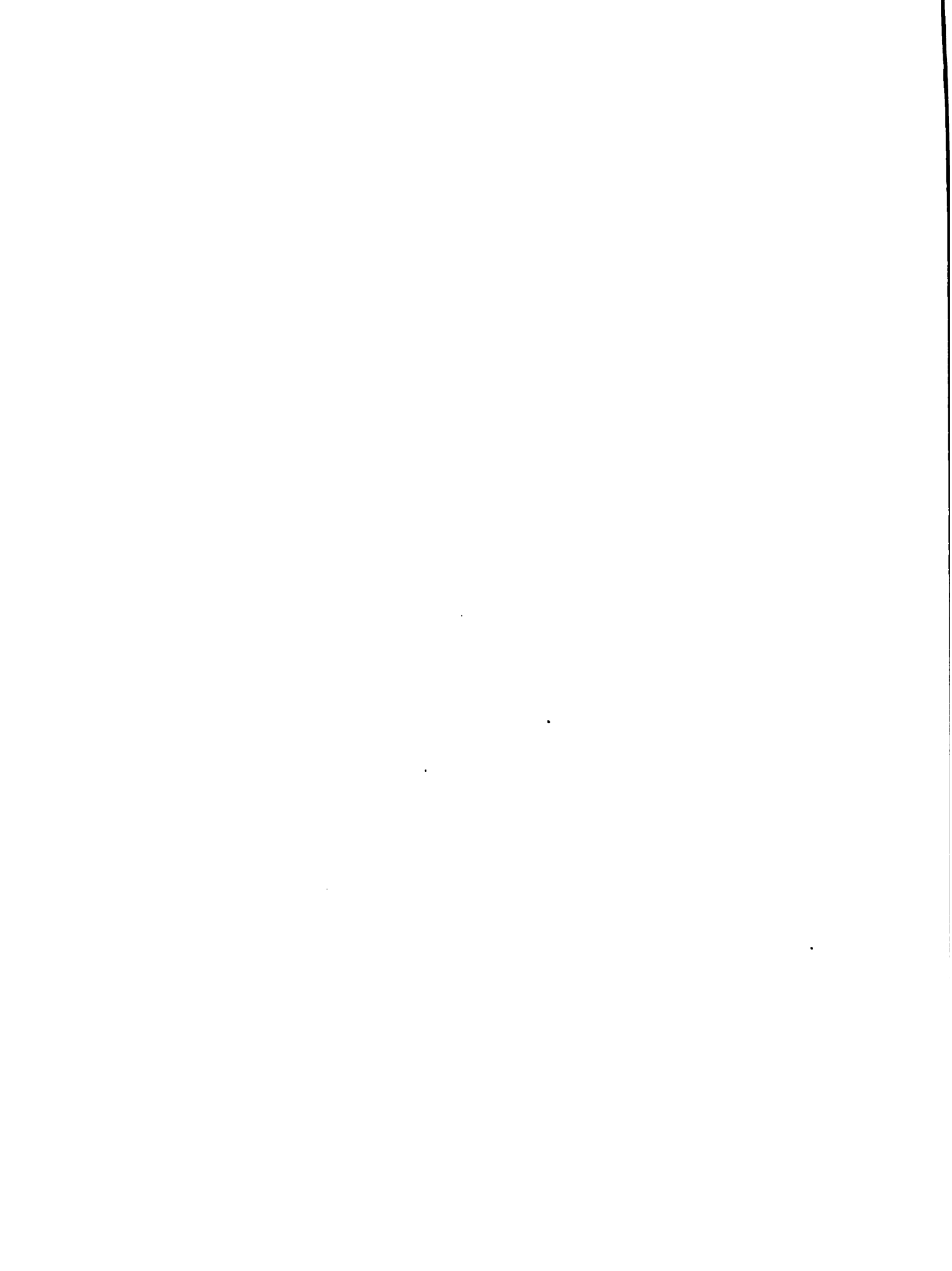


# FORMULA DE HARGREAVES

CULTIVO: \_\_\_\_\_

MESES	coeficient. k de cultivo	coeficient. mensual duración dia	temperat. media mensual	humedad relativa media al medio dia	(1,0-0,01.Hn)	<b>E<sub>T</sub></b> 1737k.d.T(1,0-0,01Hn)
	k	d	°C	Hn		mm.
JULIO						
AGOSTO						
SEPTIEMB.						
OCTUBRE						
NOVIEMB.						
DICIEMB.						
ENERO						
FEBRERO						
MARZO						
ABRIL						
MAYO						
JUNIO						
AÑO						

$$E_{t. mm.} = 1737. k. d. T (1.0 - 0,01. H_n)$$





T A B L A

VALORES DEL COEFICIENTE k - FORMULA DE HARGREAVES (1966)

Estación de crecimiento %	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Grupo E	Grupo F	Grupo G	Arroz
0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.20	0.15	0.12	0.08	1.00	0.60	0.55	0.90
10	0.36	0.27	0.22	0.15	1.00	0.60	0.60	0.92
15	0.50	0.38	0.30	0.19	1.00	0.60	0.65	0.95
20	0.64	0.48	0.38	0.27	1.00	0.60	0.70	0.98
25	0.75	0.56	0.45	0.33	1.00	0.60	0.75	1.00
30	0.84	0.63	0.50	0.40	1.00	0.60	0.80	1.03
35	0.92	0.69	0.55	0.46	1.00	0.60	0.85	1.06
40	0.97	0.73	0.58	0.52	1.00	0.60	0.90	1.08
45	0.99	0.74	0.60	0.58	1.00	0.60	0.95	1.10
50	1.00	0.75	0.60	0.65	1.00	0.60	1.00	1.10
55	1.00	0.75	0.60	0.71	1.00	0.60	1.00	1.10
60	0.99	0.74	0.60	0.77	1.00	0.60	1.00	1.10
65	0.96	0.72	0.58	0.82	1.00	0.60	0.95	1.10
70	0.91	0.68	0.55	0.88	1.00	0.60	0.90	1.05
75	0.85	0.64	0.51	0.90	1.00	0.60	0.85	1.00
80	0.75	0.56	0.45	0.90	1.00	0.60	0.80	0.95
85	0.60	0.45	0.36	0.80	1.00	0.60	0.75	0.90
90	0.46	0.35	0.28	0.70	1.00	0.60	0.70	0.85
95	0.28	0.21	0.17	0.60	1.00	0.60	0.55	0.80
100	0	0	0	0	0	0	0	0

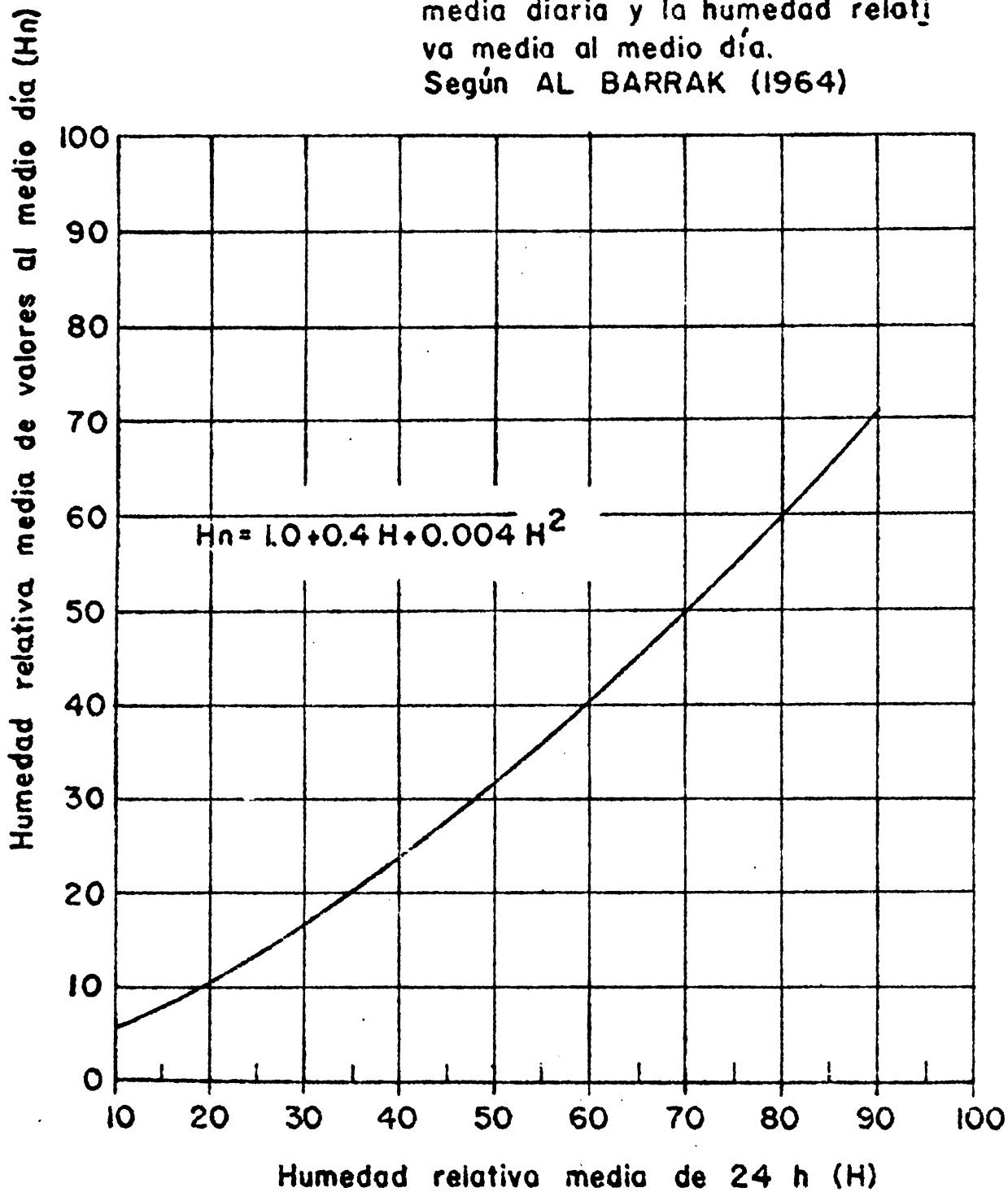
Grupo A: frijol, maíz, algodón, papas, remolacha azucarera y tomates  
 Grupo B: dátiles, olivo, duraznos, ciruelas, nogal.  
 Grupo C: melón, cebada, zanahorias, vides y almendras.  
 Grupo D: espárragos, cebada, apio, lino, avena, trigo y otros cereales menores y sorgo granífero.  
 Grupo E: pasto pangola, trébol, huertos con cultivos de cobertura, bananas y plátanos.  
 Grupo F: naranjo, limonero y toronja.  
 Grupo G: caña de azúcar y alfalfa.

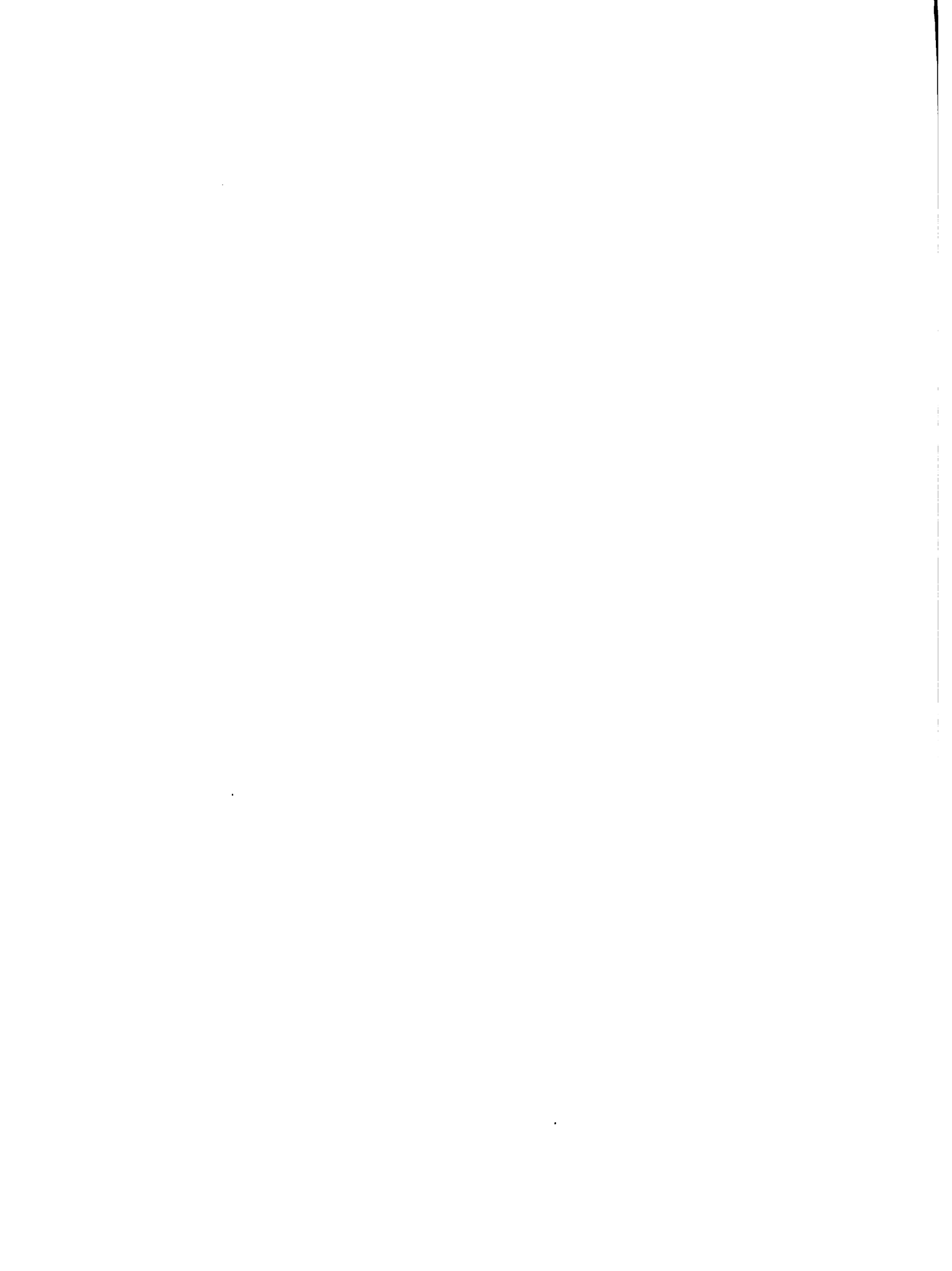


Fig.

Relación entre humedad relativa media diaria y la humedad relativa media al medio día.

Según AL BARRAK (1964)





PROCEDIMIENTO

PARA HALLAR LA EVAPOTRANSPIRACION ( Et) POR LA FORMULA DE

T U R C



FORMULA DE T U R C (Simplificada)

(Adoptada por el Serv. Genie Rural, France)

Basicamente:

$$ET_p \text{ mensual} = (I_g + 50) 0,40 \frac{t}{t - 15} \quad (1)$$

- donde:
- ET : evapotranspiración en mm.
  - $P$  :
  - $I_g$  : valor medio mensual de la radiación solar total, expresada en calorías por centímetro cuadrado de superficie horizontal y por día.
  - t : temperatura media mensual en °C.

Para este mes de febrero debe reemplazarse el coeficiente 0,40 por 0,37. Esta fórmula está calculada para zonas templadas; es necesario corregir los valores de la ET cuando la humedad relativa mensual del aire es inferior al 50%, en tal caso:

$$ET_p \text{ verdadero} = ET_p \left( 1 + \frac{50 \text{ hr}}{70} \right)$$

hr : humedad relativa del aire

$I_g$  debe ser calculado y viene dado por la fórmula 2 (de Turc)

$$I_g = I_gA \left( 0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right)$$

- $I_gA$  : energía de la radiación solar que alcanzaría el suelo en ausencia de atmósfera, en calorías por centímetro cuadrado y día.
- h : duración de la insolación total mensual en horas (observada)
- H : duración astronómica total del día en horas, mensualmente.
- $\frac{h}{H}$  : insolación relativa

•IgA y H dependen unicamente de la altitud del lugar.

Se debe hacer constar que la fórmula de Turc. no tiene en cuenta las especies vegetales, sino que la cobertura del suelo es total; tipo 1.

Los valores de h se obtienen de los registros meteorológicos de insolación o resplandor solar expresados en horas/día y con este registro podría considerarse la inversa de nubosidad media proyectada en proporción porcentual.

Este factor de prociendo así obtenido, se multiplica por el valor correspondiente al del mes y latitud, de aquel consignado en la tabla de "horas de insolación máxima posible"; finalmente se refiere a valores mensuales

Los valores de H se obtienen de la tabla de "Insolación máxima posible" multiplicada por los días del mes.



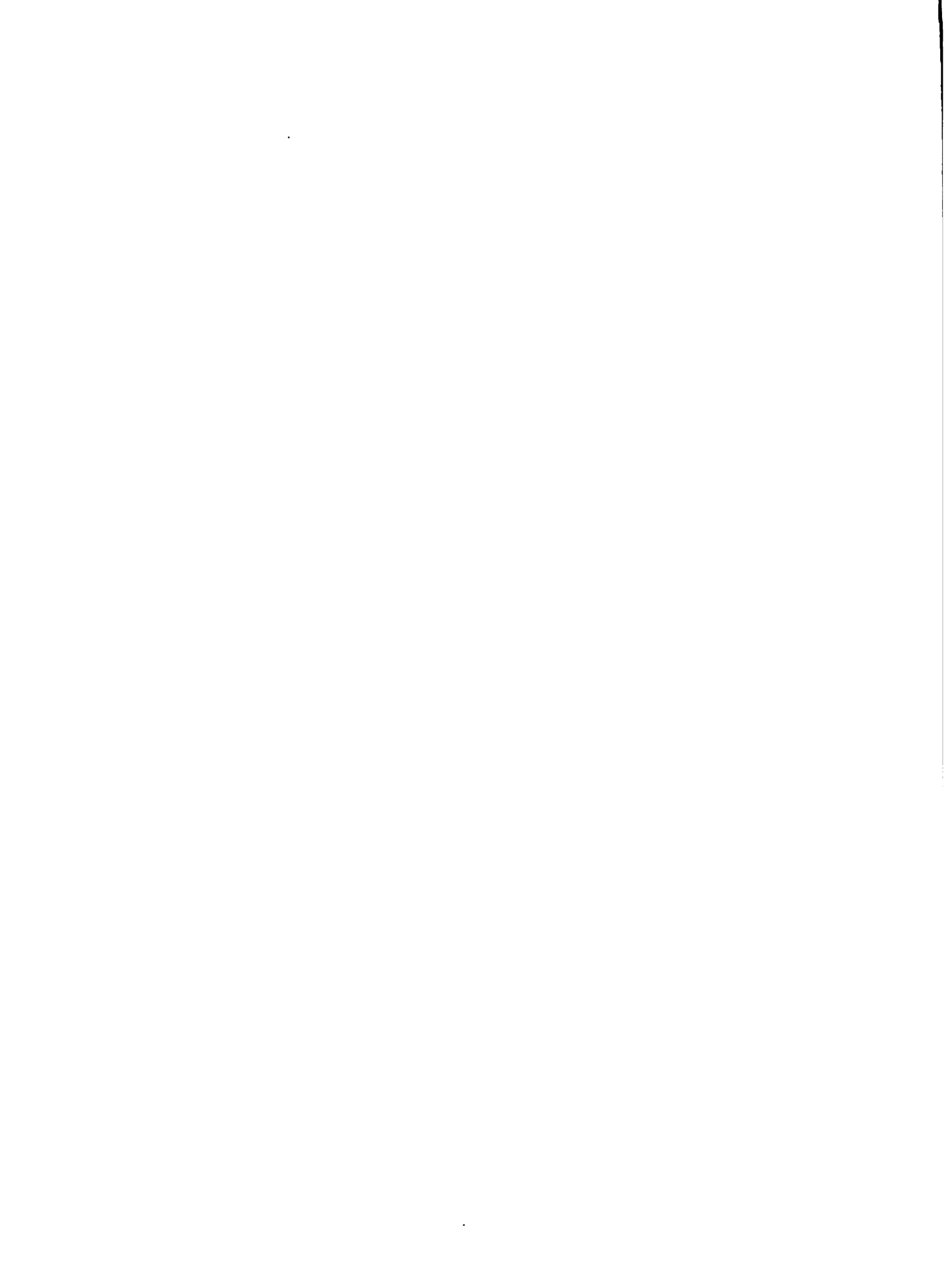




Tabla

Horas de Insolación Máxima Posible

Lat. S.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
25*	13,6	13,0	12,2	11,4	10,9	10,6	10,8	11,4	12,0	12,7	13,4	13,7
26*	13,6	13,0	12,2	11,4	10,9	10,6	10,7	11,3	12,0	12,7	13,4	13,8
27*	13,7	13,1	12,2	11,4	10,8	10,4	10,6	11,3	12,0	12,8	13,5	13,8
28*	13,7	13,1	12,2	11,3	10,8	10,4	10,6	11,2	12,0	12,8	13,6	13,9
29*	13,8	13,1	12,4	11,3	10,8	10,3	10,6	11,2	12,0	12,8	13,6	13,9
30*	13,9	13,2	12,4	11,3	10,7	10,2	10,5	11,2	12,0	13,0	13,7	14,0
31*	13,9	13,2	12,4	11,3	10,7	10,2	10,5	11,2	12,0	13,0	13,7	14,2
32*	14,0	13,3	12,4	11,3	10,6	10,1	10,3	11,1	12,0	13,0	13,8	14,3
33*	14,2	13,3	12,4	11,2	10,6	10,0	10,2	11,1	12,0	13,1	13,8	14,4
34*	14,2	13,5	12,4	11,2	10,4	9,9	10,2	10,9	12,0	13,1	13,9	14,4
35*	14,3	13,5	12,4	11,2	10,3	9,9	10,1	10,9	12,0	13,1	14,0	14,5
36*	14,4	13,5	12,4	11,2	10,3	9,8	10,1	10,9	12,0	13,2	14,0	14,6
37*	14,5	13,6	12,4	11,2	10,2	9,6	10,0	10,8	12,0	13,2	14,2	14,8
38*	14,5	13,6	12,5	11,0	10,1	9,6	9,9	10,8	12,0	13,2	14,3	14,9
39*	14,6	13,7	12,5	11,0	10,1	9,5	9,8	10,8	12,0	13,3	14,3	14,9
40*	14,7	13,7	12,5	11,0	10,0	9,4	9,8	10,7	12,0	13,3	14,4	15,0
41*	14,7	13,8	12,5	11,0	9,8	9,3	9,6	10,7	12,0	13,3	14,5	15,1
42*	14,9	13,8	12,5	10,9	9,8	9,2	9,5	10,7	12,0	13,4	14,6	15,2
43*	15,0	13,9	12,5	10,9	9,7	8,9	9,4	10,5	11,8	13,4	14,6	15,4
44*	15,1	13,9	12,5	10,9	9,6	8,8	9,4	10,5	11,8	13,6	14,7	15,5
45*	15,2	14,0	12,5	10,8	9,5	8,7	9,3	10,4	11,8	13,6	14,9	15,5
46*	15,3	14,2	12,5	10,8	9,5	8,6	9,2	10,4	11,8	13,6	15,0	15,8
47*	15,4	14,2	12,5	10,7	9,4	8,5	8,9	10,3	11,8	13,7	15,1	15,8
48*	15,6	14,3	12,6	10,7	9,2	8,4	8,8	10,3	11,8	13,7	15,2	16,0
49*	15,7	14,4	12,6	10,7	9,1	8,2	8,7	10,2	11,8	13,7	15,3	16,1
50*	15,9	14,5	12,7	10,6	9,1	8,1	8,6	10,0	11,8	13,8	15,4	16,3

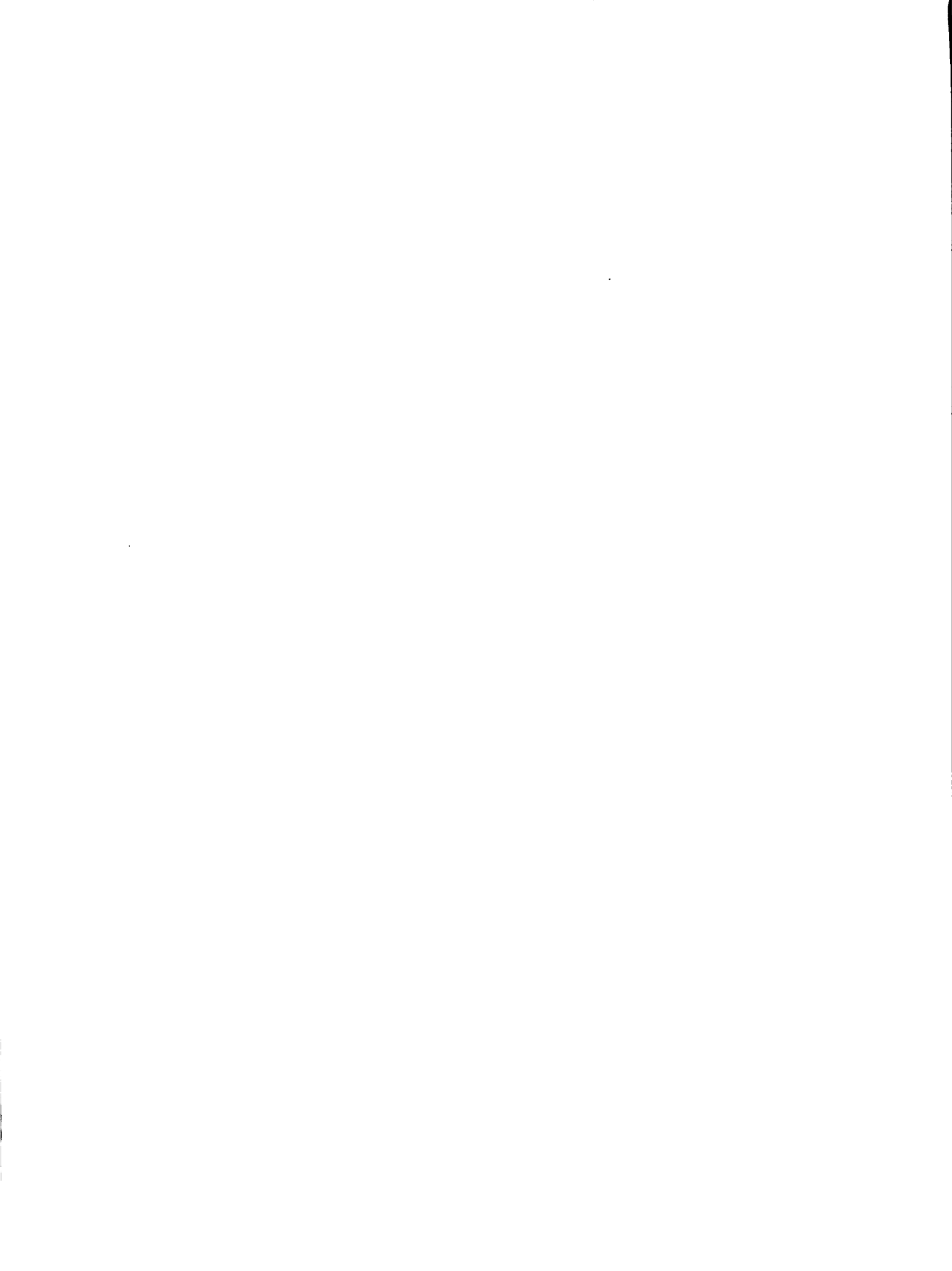


T a b l a

Valores Mensuales de la Radiación Global en Langleys/Día

(cal.cm<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup>), según Angot

<u>Lat. S.</u>	<u>Ene.</u>	<u>Feb.</u>	<u>Mar.</u>	<u>Abr.</u>	<u>May.</u>	<u>Jun.</u>	<u>Jul.</u>	<u>Ago.</u>	<u>Sep.</u>	<u>Oct.</u>	<u>Nov.</u>	<u>Dic.</u>
20 <sup>o</sup>	930	902	843	755	656	610	642	732	834	902	930	934
21 <sup>o</sup>	932	901	837	746	643	596	629	722	827	900	932	938
22 <sup>o</sup>	935	900	832	736	631	582	616	711	820	898	934	942
23 <sup>o</sup>	937	899	826	727	619	567	602	700	813	895	936	946
24 <sup>o</sup>	940	897	821	718	606	553	589	689	806	893	938	950
25 <sup>o</sup>	942	896	815	708	593	539	575	678	799	891	940	954
26 <sup>o</sup>	945	895	810	698	580	525	562	667	792	889	942	958
27 <sup>o</sup>	948	894	804	688	567	511	548	657	785	886	944	962
28 <sup>o</sup>	950	893	799	678	554	407	535	646	778	884	946	965
29 <sup>o</sup>	952	892	793	668	541	483	521	635	771	882	948	968
30 <sup>o</sup>	955	891	788	658	528	469	508	624	764	880	950	972
31 <sup>o</sup>	955	888	780	646	514	454	493	611	755	875	949	973
32 <sup>o</sup>	956	884	772	634	500	439	479	598	746	871	949	974
33 <sup>o</sup>	956	881	764	622	486	424	464	585	737	866	948	976
34 <sup>o</sup>	956	878	757	609	473	410	450	572	728	861	948	977
35 <sup>o</sup>	957	874	749	597	459	395	436	559	719	856	947	979
36 <sup>o</sup>	957	871	741	585	445	381	422	547	709	851	947	980
37 <sup>o</sup>	957	868	734	573	432	366	407	534	700	846	946	981
38 <sup>o</sup>	958	865	726	560	418	352	393	521	691	842	945	983
39 <sup>o</sup>	958	861	718	548	404	337	378	508	682	837	945	984
40 <sup>o</sup>	958	858	710	536	390	323	364	495	673	833	944	985
41 <sup>o</sup>	956	852	700	523	375	309	350	481	662	826	942	965
42 <sup>o</sup>	954	846	689	510	360	294	336	468	650	819	939	985
43 <sup>o</sup>	952	840	679	497	346	280	322	454	639	812	936	984
44 <sup>o</sup>	950	834	668	484	331	266	307	441	628	805	934	984
45 <sup>o</sup>	948	829	658	470	317	251	293	427	616	798	932	964
46 <sup>o</sup>	946	823	648	457	303	237	279	414	605	791	929	984
47 <sup>o</sup>	944	817	637	444	289	223	265	400	594	784	927	983
48 <sup>o</sup>	942	812	627	430	274	209	250	387	582	778	925	983
49 <sup>o</sup>	940	806	617	417	260	194	236	373	571	771	922	983
50 <sup>o</sup>	938	800	607	404	246	180	222	360	560	764	920	983



PROCEDIMIENTO

PARA LA OBTENCION DE EVAPORACION Y EVAPOTRANSPIRACION

POR LAS FORMULAS DE MEYER Y DAVIDOV





FORMULA DE MEYER

$$E_o = [(15 + 1,5 \cdot U) \cdot (p_o - p)] \text{ (mm.mes}^{-1}\text{)}$$

donde:

$p_o$  : presión de vapor de saturación  
(mm.Hg)

$p$  : presión de vapor observado  
(mm.Hg)

En ambos casos valores promedios mensuales.

$U$  : velocidad del viento  
(millas.hora<sup>-1</sup>)

Para pasar a  $E_t$ , el coeficiente 15 se multiplica por 0,7; por lo tanto, la fórmula se expresa:

$$E_t = [(11 + 1,5 \cdot U) \cdot (p_o - p)] \text{ (mm.mes}^{-1}\text{)}$$

-----o 0 o-----



# DESARROLLO DE LA FORMULA DE MEYER

Zona:

PLANILLA N°

MESES	Velocidad media del viento $U$	Temperatura media mensual $t$	Presion Vapor saturado $p_0$	Presion Vapor observado $p$	$E_t$ $(1+1,5U)(p_0-p)$
	millas/hora	$^{\circ}C$	mm	mm	mm
JULIO					
AGOSTO					
SETIEMBRE					
OCTUBRE					
NOVIEMBRE					
DICIEMBRE					
ENERO					
FEBRERO					
MARZO					
ABRIL					
MAYO					
JUNIO					

Valores promedio de \_\_\_\_\_ años

$$\text{FORMULA DE MEYER } E_t = [(1+1,5U)(p_0-p) \text{ mm} \cdot \text{mes}^{-1}]$$



FORMULA DE DAVYDOV

$$E_o = \left[ 15 \cdot (p_o - p)^{0,8} \cdot (1 + 0,125 \cdot U) \right] (\text{mm. mes}^{-1})$$

donde:  $p_o$  : presión de vapor saturado a temperatura  
media mensual (mb)

$p$  : presión de vapor observada (mb)

$U$  : velocidad media del viento ( $\text{m. seg}^{-1}$ )

La misma fórmula, sin el termino que representa la influencia del viento  
tiene la siguiente expresión:

$$E_o = 24,5 (p_o - p)^{0,8} (\text{mm. mes}^{-1})$$

-----o o-----



# DESARROLLO DE LA FORMULA DE DAVIDOV

Zona \_\_\_\_\_

PLANILLA N° \_\_\_\_\_

MESES	Temperatura media mensual	Presion vapor saturado	Presion vapor observado	$15(p_0 - p)^{0.8}$	Velocidad media del viento	$(1 + 0.125U)$	$E_0$
	$t$ °C	$p_0$ mb	$p$ mb		$U$ m/seg		
JULIO							
AGOSTO							
SETIEMBRE							
OCTUBRE							
NOVIEMBRE							
DICIEMBRE							
ENERO							
FEBRERO							
MARZO							
ABRIL							
MAYO							
JUNIO							

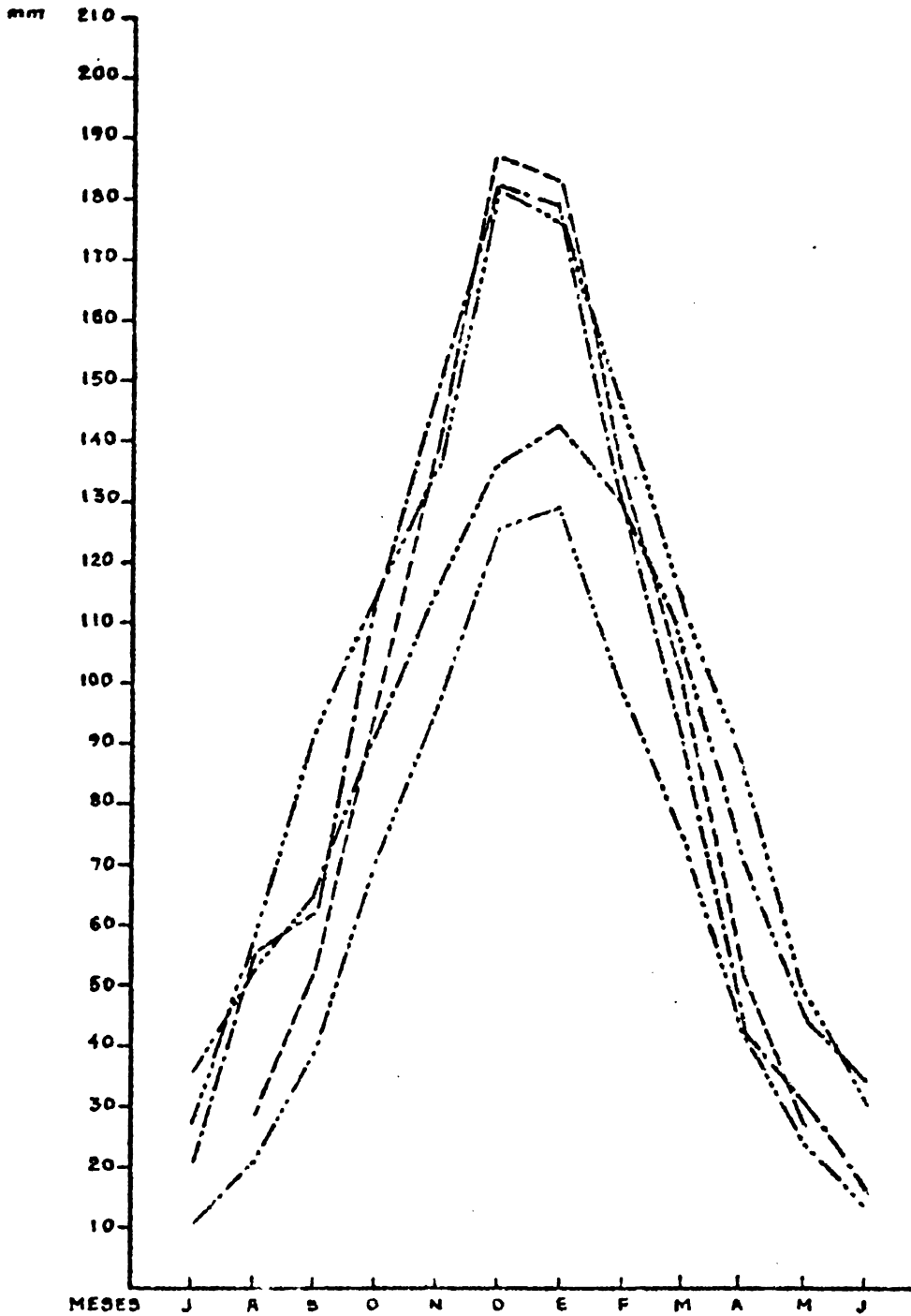
Valor promedio de años.

FORMULA DE DAVIDOV  $E_0 = 15(p_0 - p)^{0.8} (1 + 0.125U) \text{mm. mes}^{-1}$





GRAFICAS COMPARATIVAS DE LOS VALORES MENSUALES Y ANUAL  
DE EVAPOTRANSPIRACION Y NECESIDADES DE AGUA OBTENIDAS  
POR DISTINTOS METODOS



## ALTO VALLE

- Método Blaney y Criddle.- (para alfalfa.-)
- .-.-.-.- " " Penman.- (para K:1.-)
- ..... " " Papadakis (potenc.)
- ..... " " Thornthwaite (para K:1.-)
- .-.-.-.- " " de evapor. en tanque, ajustada.-



PARTE III . PROCEDIMIENTOS PARA EL CALCULO DE LAMINA E  
INTERVALOS DE RIEGO

CURVAS DE DEMANDA

- A. Procedimientos para el cálculo de espesor de  
Lámina a aplicar por riego
  - 1. Fundamentos Primer método
  - 2. Fundamentos Segundo método
- B. Desarrollo análítico de los procedimientos
  - 1. Desarrollo del Procedimiento Edafológico
  - 2. Desarrollo del Procedimiento de Uso Consuntivo
- C. Cuadros y Tablas de apoyo para la aplicación  
de los procedimientos
  - 1. Factor Suelo
  - 2. Factor Profundidad media de raíces y de mojado
  - 3. Factor Eficiencia
- D. Planteo para la Confección de las Curvas  
de Demanda.

## BREVE PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE ESPESOR DE LAMINA A APLICAR POR RIEGO

### INTRODUCCION

La necesidad de poner al alcance de los extensionistas, las oficinas administradoras de riego y los "leader-regantes" un procedimiento aún más sencillo pero al mismo tiempo suficientemente sólido y basado en técnicas reconocidas, que permite resolver los problemas cotidianos de lámina, dotación y tiempo de riego a satisfacción, ha sido una constante preocupación en todas las cuencas y áreas regadas.

En los Estados Unidos, desde aproximadamente el año 1947, el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura ha venido preparando y distribuyendo instrucciones para el uso y manejo del agua, recomendaciones que posteriormente, desde el año 1954, se han concretado en las guías de riego regionales.

Análogamente, estimamos que, basados en las últimas técnicas recomendadas por diversos autores con datos relativos a nuestras cuencas regadas, puede también elaborarse para cada país, zona o distrito de riego los "instructivos" que permitan resolver este problema fundamental de la aplicación del agua.

### FUNDAMENTOS:

Fundamentalmente se tiende a resolver el problema de cálculo de espesor de lámina a aplicar por riego, obteniéndose este resultado por dos procedimientos.

#### 1.- Primer método: (de base edafológica)

En primer lugar, se ha desarrollado dicho cálculo de acuerdo a lo que se conoce como "Procedimiento edafológico", fundado en la conocida fórmula:

$$d \text{ (esp. lámina)} = (W_c - W_n) \cdot p_a \times 0,6 \times D \frac{1}{e_f}$$

Como además debemos ajustar este dato de capacidad total al umbral o nivel de succión a que a "hacer trabajar" el cultivo, debemos fijar el porcentaje de la capacidad anterior que se aprovechará para el riego. Es lógico suponer que no vamos a esperar hasta el "punto de marchitez" para aplicar un nuevo riego; por regla general, los niveles de aprovechamiento de la anterior capacidad de humedad almacenada, varía entre el 40 al 60%. Los ensayos experimentales ajustarán estos porcentajes, para esto es usual aplicar el factor 0,6.

La expresión  $\underline{D}$  en la mencionada fórmula, se refiere a la "media de aprovechamiento de humedad por las raíces" y a los efectos del cálculo respectivo, se acompaña una planilla con la profundidad, en cm., a considerar en las explotaciones o cultivos más corrientes.

En lo que se refiere a la "eficiencia en el riego" (Ef.) este valor de eficiencia de aplicación o manejo es discutido y existen diferentes criterios; por lo general, la eficiencia varía entre un 25 a un 75% y se acompaña también una breve tabla guía, relacionada con los sistemas de riego y pendientes del terreno.

Si en ésta fórmula expresamos ( $Wc$   $Wm$ ) en por ciento, ( $pa$ ) en valor adimensional, ( $D$ ) en decímetros y  $E_f$  en coeficiente menor que la unidad, el resultado se obtiene directamente en milímetros de lámina.

Este procedimiento edafológico base ya nos permite lograr una lámina-tipo para el período de riego.

Nos será útil también cuando debamos asumir el intervalo o duración del riego en el otro procedimiento, al relacionarlo con la evapotranspiración.

## 2.- Segundo método:(con base de uso consuntivo)

El segundo procedimiento adoptado se basa en el concepto de "evapotranspiración" o "uso consuntivo" del cultivo, ajustado mediante coeficiente "K" de relación, para cada mes en que se produce el riego; con tal propósito se acompaña la "Tabla de coeficientes K de ajuste, mensuales y anuales", para diferentes cultivos,.

Dentro de lo posible, no se aconseja aplicar el coeficiente único anual, ya que las variaciones de acuerdo a temperaturas y demás factores del mes, son significativos. (Procedim. base Blaney y Criddle ajust.).

Este cálculo de láminas teóricas de consumo es motivo de un tratamiento anterior, al desarrollar el tema: "Evapotranspiración. Uso consuntivo y Requerimiento de riego". En dicho capítulo se considera y analiza los procedimientos más corrientes y aquellos recomendados para el logro de estos valores de requerimiento o consumo, asumiéndose como método base el ya consignado de Blaney y Criddle, ajustado a las condiciones regionales. En forma sintética su aplicación también es viable, usando como dato base para el desarrollo el de la "evapotranspiración potencial media" o, en su defecto, los valores de "evaporación mensual", "evaporac. estacional media", etc.,

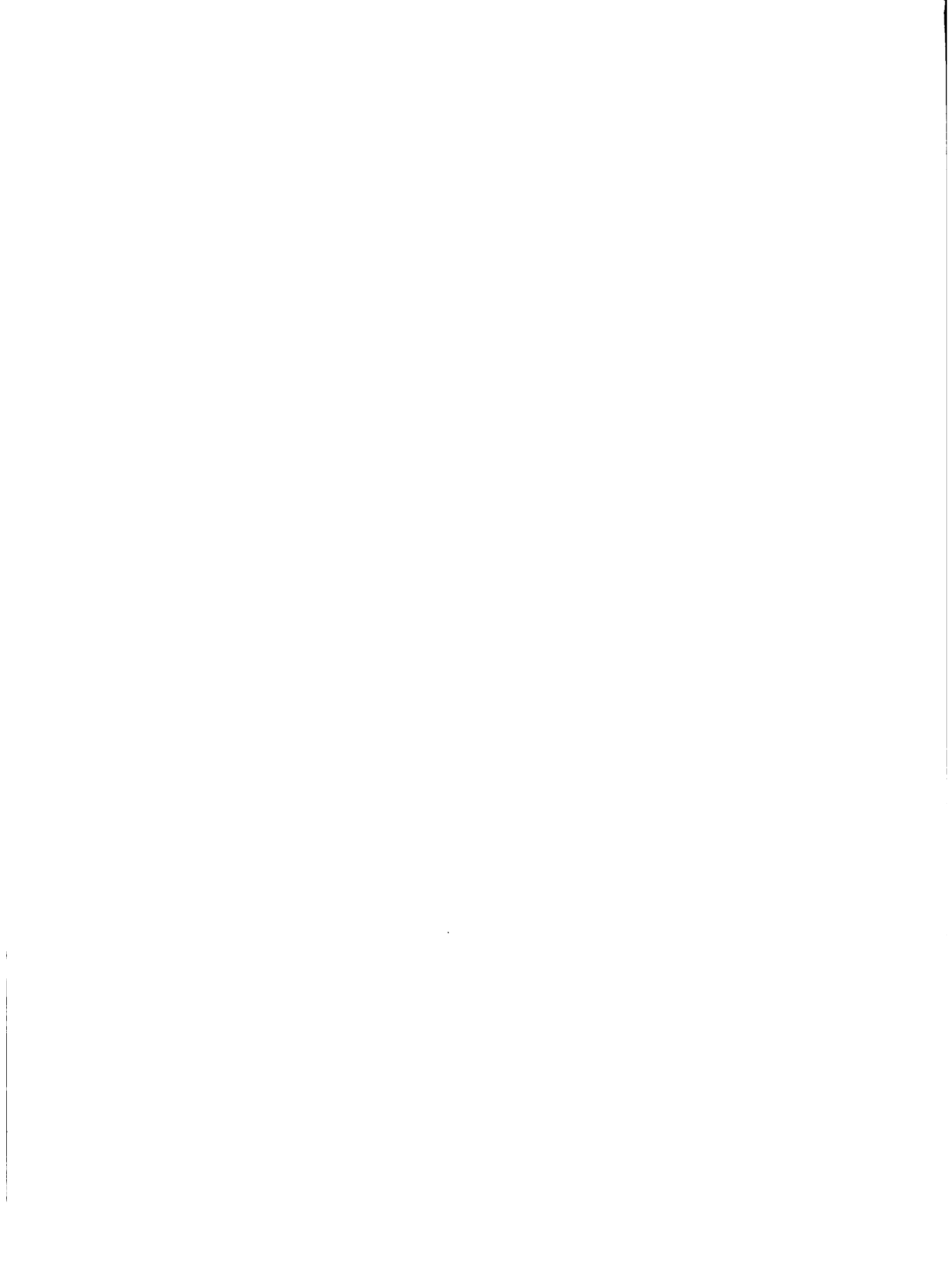
En un paso posterior debemos contar con un dato que es "días que han de transcurrir hasta el próximo riego" o "días transcurridos desde el riego anterior".

Para resolver este caso y asumir un intervalo lógico y lo más real posible, contamos con el valor de "lámina de agua a reponer o lámina neta" hallado por el primer procedimiento, el edafológico.

Si dividimos este valor (exonerado en mm.) por el dato recientemente hallado de "evapotranspiración media mensual, ajustado o del cultivo", también dada en mm., obtenemos el número de días en que dicha lámina ha de consumirse, es decir, el intervalo entre los dos riegos. No obstante frecuentemente el intervalo ya se ajusta al turno,.

En lo que respecta a la eficiencia en el riego, nos remitimos a lo expresado anteriormente.

PROCEDIMIENTOS ANALITICOS A DESARROLLAR





## ESPESOR DE LAMINA A APLICAR EN EL RIEGO

### 1.1. Procedimiento caracterizado como "edafológico" para hallar el espesor de lámina a aplicar en el riego:

- 1<sup>a</sup>- Se establece el agua útil almacenada o "disponible en el suelo a la capacidad de campo", expresada en mm./dm. (es decir, mm. de lámina de agua por cada 10 cm. de espesor de suelo).

Como guía, si no se ha determinado la capacidad hídrica del suelo en laboratorio( su "capacidad de almacenamiento de humedad útil), puede seguirse las indicaciones del Cuadro "Capacidad de almacenamiento de humedad útil para diferentes suelos", de acuerdo a la textura o encuadrar dicho suelo dentro de uno de los tres grandes grupos(livianos, medianos, pesados) a los fines del riego.

- 2<sup>a</sup>- Se multiplica el valor anterior por la profundidad de la zona radicular considerada para el cultivo, expresada en dm., obteniéndose así el "valor del agua disponible total en la zona radicular" en mm. de lámina.

Como guía, puede usarse el Cuadro: "Profundidad media de las raíces", para cada cultivo.

- 3<sup>a</sup>- Si no es el primer riego del período, se fija el porcentaje de la capacidad anterior que se aprovechará en el riego, antes de proceder a regar nuevamente, es decir, el porcentaje de agua que se extraerá del total.

Para ello, se multiplica el valor anterior, total de lámina por este porcentaje establecido y se divide todo por cien, o por el factor unitario.

Se obtiene así, la lámina de agua que debe ser repuesta en el riego o lámina neta.

42- Se divide el dato anterior de lámina a reponer por la eficiencia del riego, expresada en índice o coeficiente unitario, obteniendo finalmente, el espesor de lámina a aplicar en el riego, en mm, como lámina bruta a nivel de parcela.

- 42- Se divide el dato anterior de "lámina de agua a reponer" por la eficiencia del riego, expresada en índice o coeficiente unidad (0,60 - 0,70 - etc.) y se obtiene el espesor de lámina a aplicar en el riego, como lámina bruta a nivel de parcela, en mm. (Puede consultarse el cuadro relativo a eficiencia ya mencionado).

### ESPESOR DE LAMINA A APLICAR EN EL RIEGO

- 1.2. Procedimiento analítico simplificado para hallar el espesor de lámina a aplicar, basado en el uso consuntivo.
- 1º- Se halla el coeficiente K de ajuste del cultivo considerado para el mes que se lleva a cabo el riego, en el Cuadro "Coeficientes K de ajuste, mensuales y anuales, para diferentes cultivos".
- 2º- Se multiplica este coeficiente K por el valor de Evaporación en mm./ día del mes en que se aplica el riego. Este último valor de evaporación puede hallarse en los boletines agro-meteorológicos que incluyen "Valores de evaporación y evapotranspiración media diaria".

(También puede usarse en vez de dato de evaporación mensual, el de "Evapotranspiración potencial" del lugar, hallada por varios procedimientos, para dicho mes).

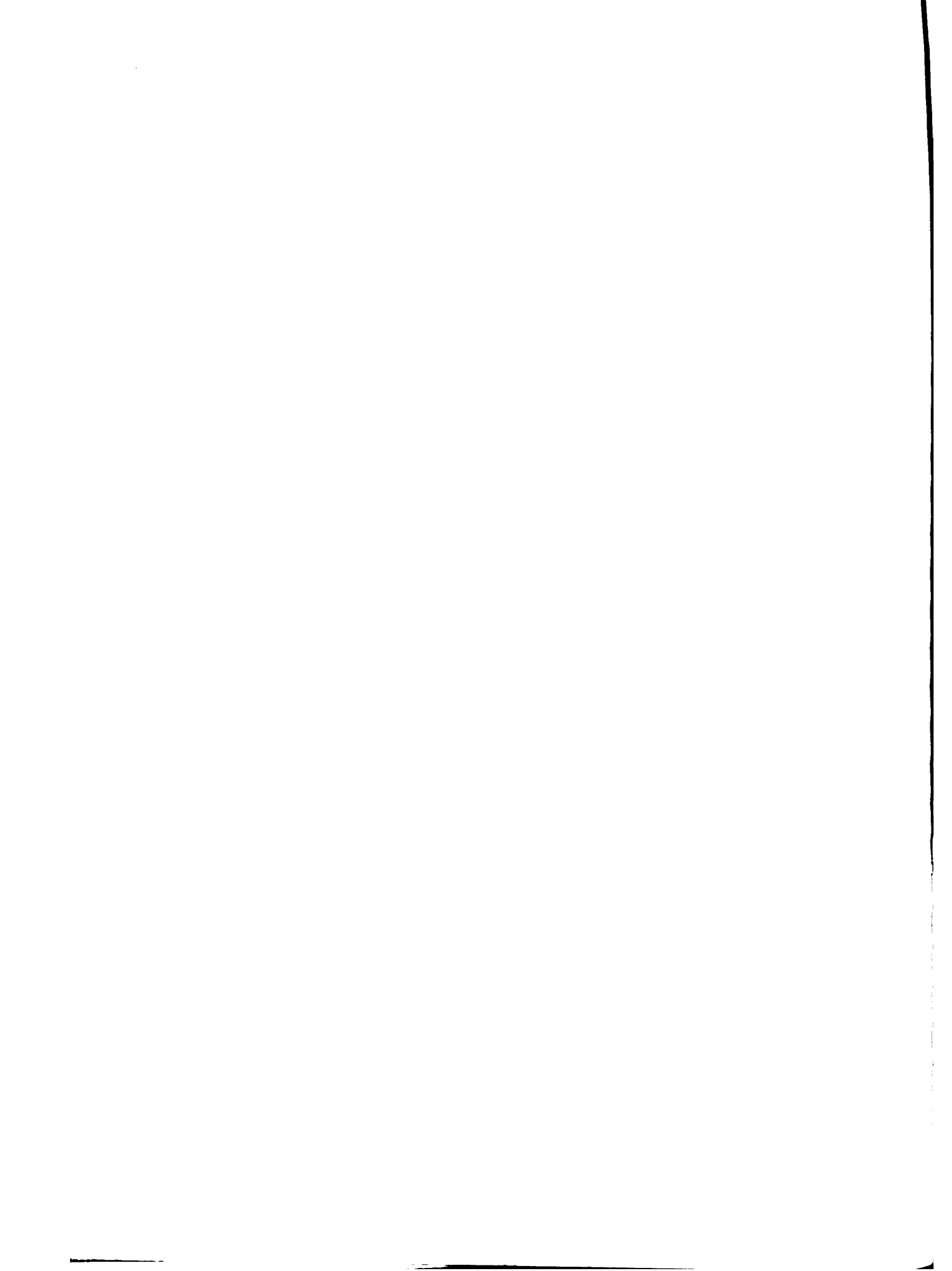
El producto nos da "evapotranspiración del cultivo" en mm/día, para el momento del riego.

- 3º- Se multiplica el valor anterior de "evapotranspiración del cultivo" por los días que han de transcurrir hasta el próximo riego o los ya transcurridos desde el anterior.

Este valor se conoce como "lámina de agua a reponer en el suelo o lámina neta" y está dada en mm.

Para ajustar este concepto de "tiempo o intervalo de riego" puede dividirse la lámina neta hallada en el primer procedimiento (edafológico), por el valor de la evapotranspiración media del cultivo logrado en este procedimiento (punto 2º-) obteniéndose el resultado en días.

**C. CUADROS Y TABLAS DE APOYO PARA LA APLICACION  
DE LOS PROCEDIMIENTOS**



**CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE HUMEDAD UTIL PARA DIFERENTES SUELOS**

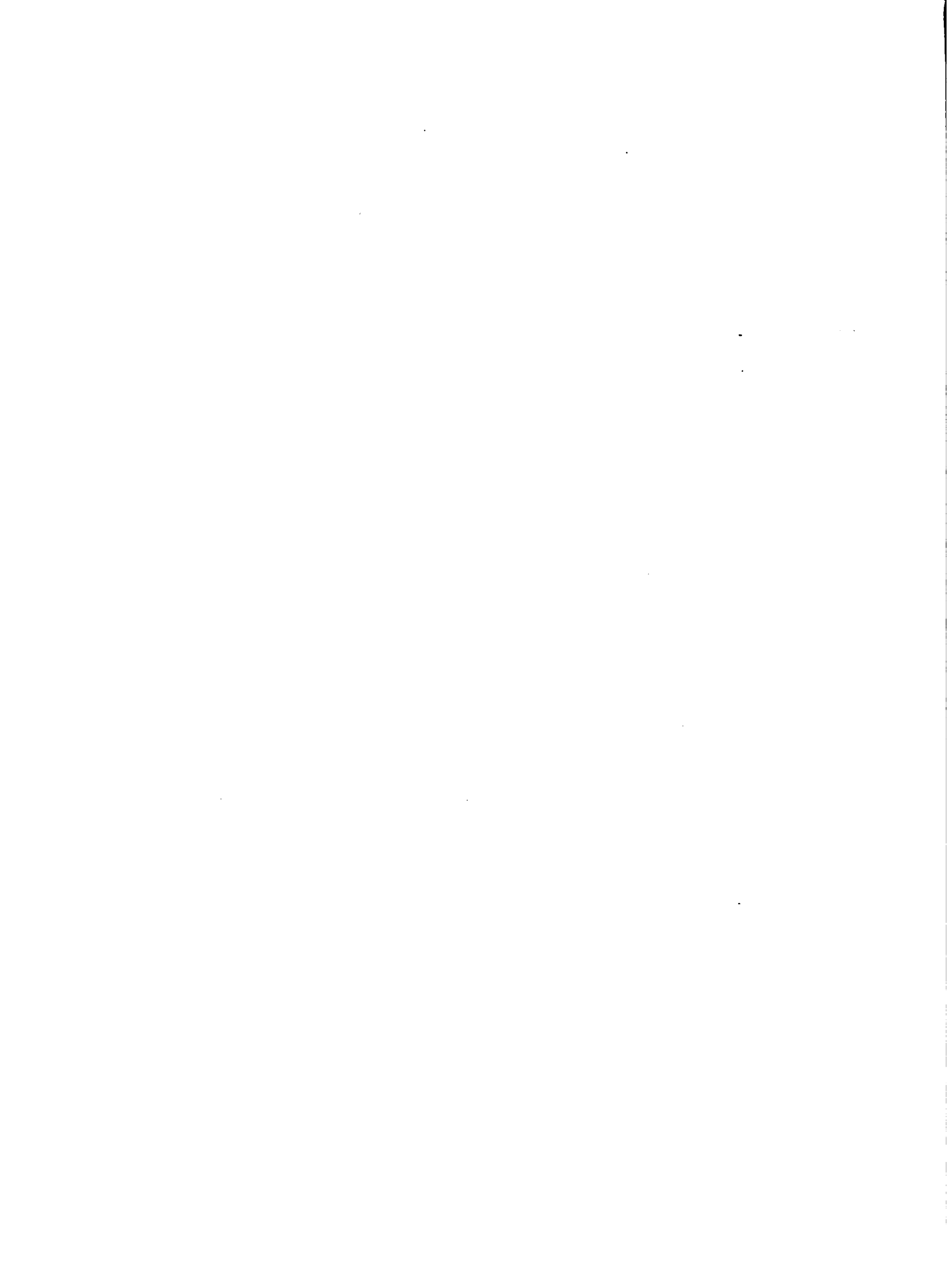
CUADRO N°: \_\_\_\_\_

(Adaptado de S. C. S. , USDA)

TEXTURA Y TIPO DE SUELO	SIGLA	HUMEDAD DISPONIBLE EN mm/dm.	
		PROMEDIO	RANGO
I. - Suelos de textura gruesa ; Arenoso - gruesos y Arenoso - finos	C	6	4,0 a 8,0
II. Suelos de textura gruesa Franco - arenosos , a Franco - arenoso - finos	L	8	6,0 a 10,0
III. Suelos de textura medianamente gruesa o moderadamente gruesa. Francos a franco - arenoso - finos	S	12	10,0 a 14,0
IV. Suelos de textura mediana . Franco - arenosos muy finos ; margoso - francos y franco - limosos	M	16	12,0 a 20,0
V. Suelos de textura moderadamente o medianamente fina ; Franco - arcillo - arenosos ; Franco - arcillosos ; Franco - arcillo - limosos.	F	18	14,0 a 22,0
VI. Suelos de textura fina ; Arcillo - arenosos - finos ; Arcillo - limosos ; Arcillosos.	H	20	16,0 a 24,0

. Se considera suelos normales .

La Presencia de sales en el perfil puede alterar estas cifras.



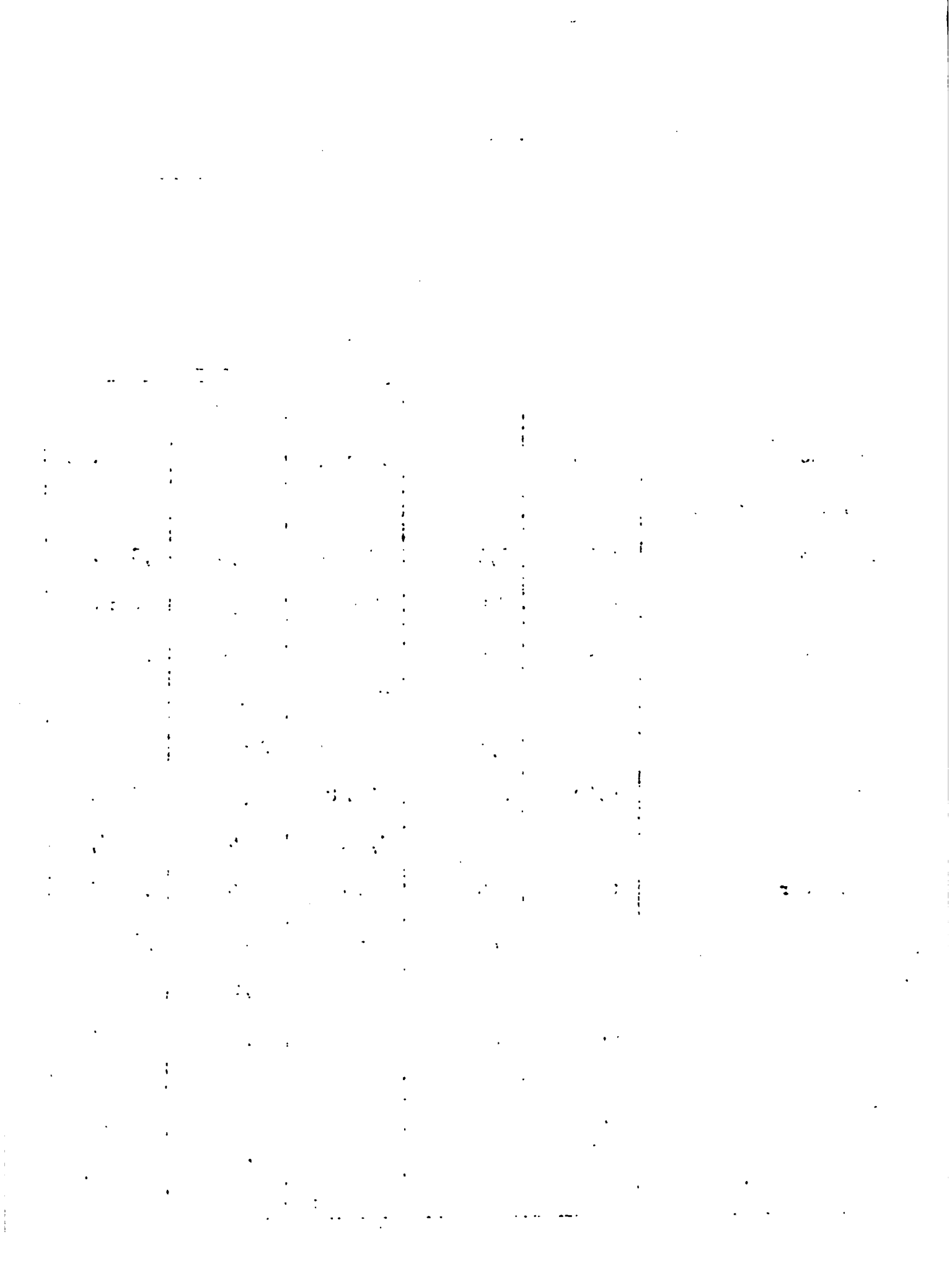


**PROFUNDIDAD MEDIA ESTIMADA DE LAS RAICES CONSIDERADA PARA RIEGO  
EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD DE MOJADO**

**Adoptada a los Grupos de Suelo con fines de riego.**

EXPLORACIONES O CULTIVOS	Profundidad media a considerar en:		<u>Rango de variación</u> Profundidad a considerar para grupo de suelos:		
	m.	dm.	Livianos <u>dm.</u>	Medianos <u>dm.</u>	Pesados <u>dm.</u>
Frutales de hojas caducas tipo Durazno	0,70	7,0	8,0 a 9,5	7,0	4,5 a 6,0
Frutales de hoja caduca tipo Manzana	0,75	7,5	8 a 10	7,5	5,5 a 7
Olivo	0,80	8,0	8 a 12	8,0	6 a 8
Cítricos (según pié)	0,60	6,0	7 a 8	6,0	4,0 a 5
Vid	0,60	6,0	7, a 8	6,0	4 a 5
Alfalfa	0,95	9,5	11 a 14	9 a 11	6 a 8
Algodón	0,50	5,0	5 a 8	5,0	3,5 a 5
Maíz y Sorgos	0,45	4,5	4,5 a 8	4,5	3 a 4,5
Caña de Azúcar	0,50	5,0	6 a 8	5,0	3,5 a 5
Cereales	0,40	4,0	4 a 6	4,0	2,5 a 3,5
Papa	0,45	4,5	5 a 8	4,5	3 a 4
Tomate	0,40	4,0	4, a 6	4,0	2,5 a 4
Ají y otros menores	0,40	4,0	4 a 5	4,0	2,5 a 4
Cebolla	0,30	3,0	3 a 5	3,0	2 a 3
Cucurbitaceo	0,30	3,0	3 a 4	3,0	2 a 3
Poroto, Frejol, etc.	0,40	4,0	4 a 6	4,0	2,5 a 4
Pastos regado	0,75	7,5	8 a 11	7,5	4 a 7

**Nota:** Se usa la unidad dm para mejor adaptación a la unidad mm/dm con que se define la Capacidad de almacenamiento de humedad útil de los



**EFICIENCIA** ( $E_f$ ) mínima de aplicación y manejo a que debe tender el agricultor -regante en función de la capacidad de infiltración básica de los suelos y del Sistema O Método de riego adoptado.

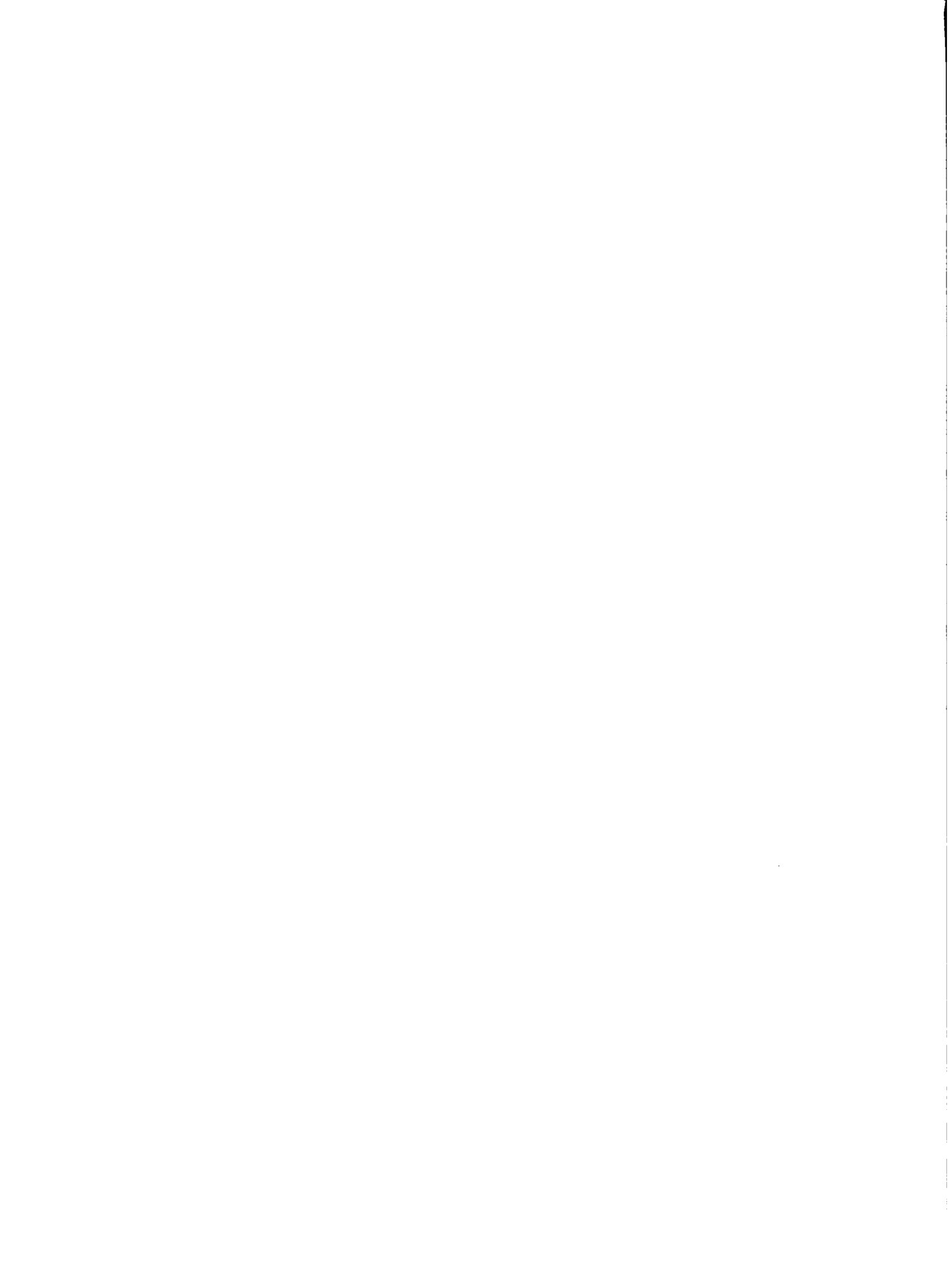
(Adaptado del S.CS. Israelsen y Manuales)

SISTEMA O METODO DE RIEGO	PENDIENTE EN PORCIENTO			
	0,0 a 0,25	0,25 a 0,40	0,40 a 0,80	de 0,80
<b>1 - <u>RIEGO POR BONDOS o AMELGAS</u></b>				
. Valores de Infiltración básica ( $I_b$ ) en cm / hora.				
. Menos de 0,7	60	70	60	50
. De 0,7 a 1,4	70	75	65	60
. De 1,4 a 3	60	70	60	50
. Más de 3	55	60	50	45
<b>2 - <u>RIEGO POR SURCOS</u></b>				
. $I_b$ en cm/ hora				
. Menos de 0,7	60	70	60	55
. De 0,7 a 1,4	70	75	65	60
. De 1,4 a 3	65	70	60	55
. Más de 3	60	65	55	50
<b>3 - <u>RIEGO DE PASTURAS POR CURVAS DE NIVEL Y DESBORDE</u></b>				
. $I_b$ en cm/ hora				
. Menos de 1,0	45	50	45	40
. De 1,0 a 1,8	50	60	50	45
. Más de 1,8	40	50	45	40
<b>4 - <u>RIEGO POR ASPERSION</u></b>				
. $I_b$ en cm/ hora				
. Menos de 1,4		60 a 70		
. Más de 1,4		70 a 80		

Los valores de Eficiencia ( $E_f$ ) están dados en por ciento.



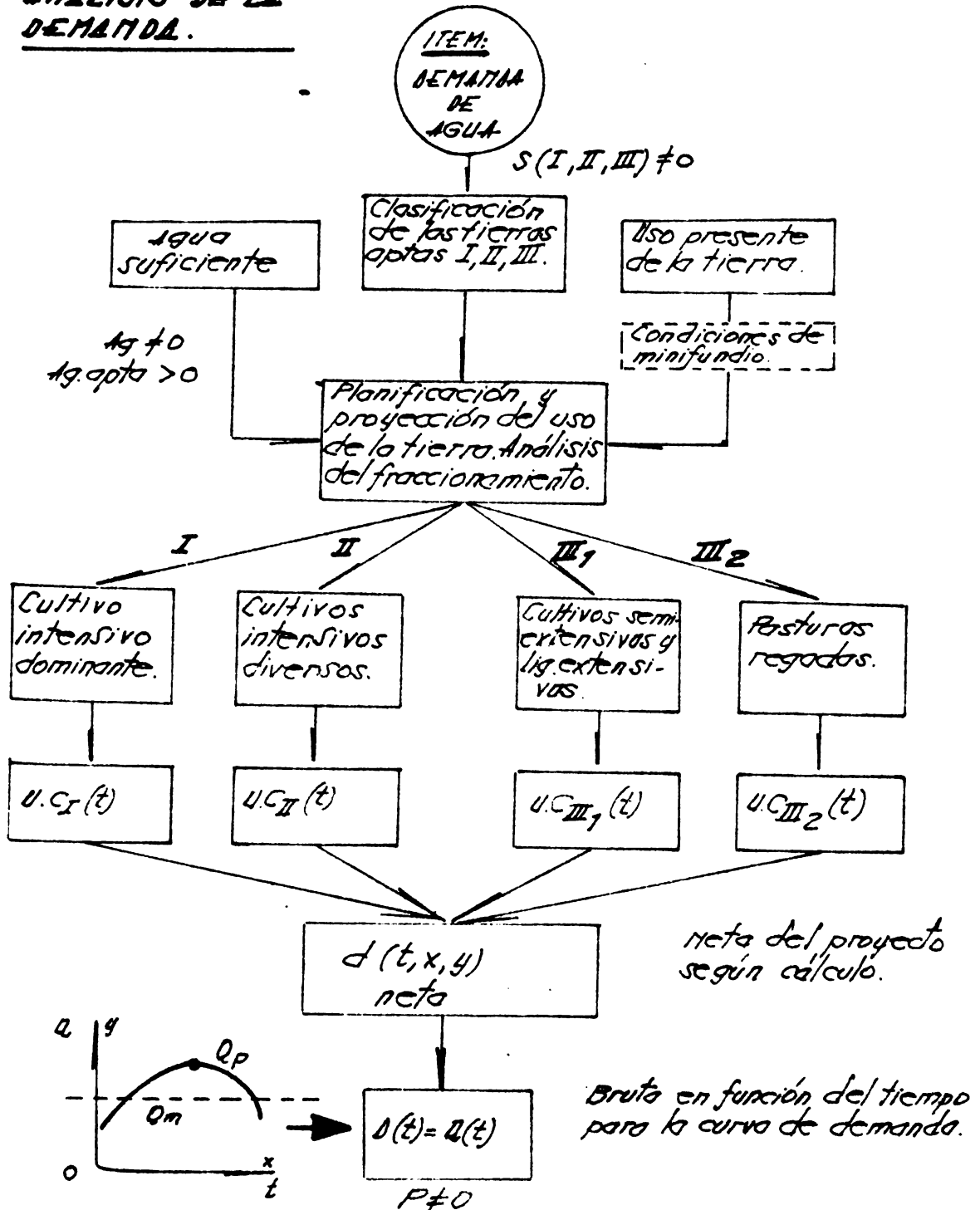
**D. PLANTEO PARA LA CONFECCION DE LAS CURVAS DE  
DEMANDA**



- PLANTEO LOGICO DE LA DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO EN UN AREA -

- Diagrama de Flujo -

ANALISIS DE LA DEMANDA.







## OPERACION DE DISTRITO

### . Confección de las Curvas de Demanda

A los efectos de considerar las secuencias de operación, se parte de una Sección o Distrito de Riego, cuyos parámetros conocidos son:

#### 1.- Antecedentes del Distrito

- 1.1.- Superficie total y área ocupada por cada una de las explotaciones o cultivos. Ubicación en el tiempo.
  - 1.2.- Célula o porcentual de cultivos adoptado para el cálculo de la curva de demanda.
  - 1.3.- Requerimiento de riego, por uso consuntivo, de cada una de las explotaciones (método base: Blaney y Criddle ajustado)
  - 1.4.- Análisis de la Eficiencia a considerar. No sólo la denominada eficiencia de aplicación o de uso consuntivo, sino también la eficiencia de conducción y distribución.
  - 1.5.- Otros antecedentes: necesidades adicionales de agua por lixiviación, situaciones particulares de demanda, etc.,.
- 2.- Se calcula mes por mes, para todo el periodo de riego, el requerimiento en VOLUMEN, lograndose la unidad:  $m^3$ /mes para las necesidades del distrito. Corrientemente y para la mayoría de las áreas regadas del país ubicadas en la zona templada, este periodo de riego comienza entre los meses de Junio a Setiembre.
- 3.- Relacionando el consumo anterior o volumen en función del tiempo, se establece el Caudal continuo necesario, ya sea en unidad: metros cúbicos/segundo o litros/segundo, . La unidad tiempo usada es el valor "segundos-mes".

- 4.- Luego, si se relaciona este caudal continuo de entrega al área que sirve el distrito, se establece el índice: "Caudal/Superficie" o Coeficiente de Riego, en la unidad: lt/seg.Ha.

En función de las pérdidas y eficiencia, se debe dejar bien claro si los valores son para operar: "g nivel de de toma de distrito (que es lo usual) o si están a nivel de toma de ca becera de predio o parcela.

- 5.- Puede emplearse los cuadros que se incluye en el instructivo siguiente (Nº 10 y 11 y grafico del Nº 12)

ANEXOS

PAUTAS SECUENCIALES PARA LA OPERACION Y SU  
REORDENAMIENTO EN DISTRITOS DE RIEGO



## PALTAS SECUENCIALES PARA LA OPERACION Y SU REORDENAMIENTO

### EN DISTRITO DE RIEGO

#### METODOLOGIA DE BASE

Al considerar en forma sumaria el conjunto de parámetros técnicos que compone la metodología de base para el reordenamiento y optimización en distritos o áreas de riego con fines de operación, debe tenerse en cuenta una serie de pasos progresivos cuya realización conduce al logro de eventos u objetivos específicos. Tales aspectos atañen fundamentalmente a los recursos naturales y humanos que gravitan en un programa de este tipo: el estudio del suelo y sus características de aptitud, el análisis del agua y sus condiciones de disponibilidad, modalidades operativas del regante en la zona, etc.

De un modo general, los aspectos y elementos que en forma ordenada considera el desarrollo de un programa de optimización en su faz esencial, pueden ser reunidos de acuerdo al siguiente esquema:

#### PAUTAS SECUENCIALES

##### 1. RECURSO HIDRICO DISPONIBLE

Abarca el estudio y análisis del recurso hídrico fundamental y su caracterización en función del riego. Incluye,

- 1.1. Caracterización y disponibilidad del recurso: se tomará como base los estudios hidrológicos ya efectuados (Dirección de Hidrología, etc.) sobre el área o la cuenca en cuestión. Esta información se vuelca en planillas pudiendo resumirse estos datos en una planilla como la que se muestra en el Cuadro N°1 que se agrega adjunto:

Una posterior información complementaria puede ser de valor para el momento del replanteo de la curva en razón del Plan de Cultivo y Riego, que debe ser abastecida por agua subterránea en determinada área. .









1.2. Análisis de la capacidad regable del área en función de la Célula de cultivos tipo, para el recurso hídrico disponible. Con el objeto de generalizar una metodología en esta cuestión, se acompaña adjunto como planilla modelo para la determinación del porcentual y la caracterización del porcentual y la caracterización y cálculo de requerimiento de la célula de cultivo general, la que se muestra en el Cuadro Nº2 que se agrega.

Existe desde luego otros procedimientos para el logro de dicha célula de cultivos,. Para los casos generales de evaluación previa puede recomendarse las determinaciones siguientes:

1.2.1 Capacidad regable máxima, estimada como:

$$\frac{\text{Volumen disponible período}}{\text{Consumo unitario Ce.Cultivos}}$$

1.2.2 Capacidad regable mínima en función de pico, calculada según:

$$\frac{\text{Volumen disponible mes pico}}{\text{Consumo mes pico}}$$

Dicho consumo puede referirse al cultivo dominante cuando este supera por ejemplo el 60% del área o, en su defecto, al requerimiento de la respectiva célula de cultivos mensual. Analizando los dos parámetros anteriores tenemos:

1.2.3 Capacidad regable media la que se lograría hallando la media de las anteriores. Si además afectamos dicho valor estadístico de un coeficiente de eficiencia relacionado con las pérdidas por conducción y distribución, para situarnos en forma real a nivel de toma de río, se logra la capacidad media neta regable.



DISTRITO : \_\_\_\_\_ SUB-DISTRITO : \_\_\_\_\_

SECTOR : \_\_\_\_\_

AÑO AGRICOLA : \_\_\_\_\_

CULTIVOS	Requerimiento Nivel Parcela (mm)	Porcentaje de Incidencia (%)	Proporción Unitaria (o, X)	Requerimiento Proporcional (mm)
TOTAL LAMINA UNITARIA (mm/Ha)..... _____				
TOTAL VOLUMEN : m <sup>3</sup> /Ha. Período ..... _____				
TOTAL VOLUMEN BRUTO : Vol. . arc/Ef (m <sup>3</sup> /Ha.Per)..... _____				



Como es fácil de deducir, se trata de una expresión estadística media, orientadora a los fines de un análisis de situación previo del distrito, con el objeto de establecer los límites a que se debe ajustar el respectivo plan de cultivos.

Más ajustadamente aún, si tenemos ya centrados los cultivos en función de tiempo, es factible llevar a cabo un análisis previo de capacidad regable más preciso, calculando mes a mes los requerimientos unitarios de la célula de cultivos y enfrentándola con el volumen disponible. No debe olvidarse que dicho volumen debe ser considerado a nivel de toma de canal, para lo cual se le afectará de una cierta eficiencia correspondiente a las pérdidas habidas por conducción y distribución, hasta cabecera de parcela.

Este último procedimiento nos permitiría lograr la Capacidad neta regable mensual y a los efectos de su apreciación, se analizará de preferencia los tres meses de capacidad (puede ser por mayor demanda o menor disponibilidad) y se asumirá el evento correspondiente.

- 1.3. Calidad del agua para riego: determinación de agua apta (sales solubles totales, pH, cationes, calcio más magnesio, sodio más potasio, aniones, boro, etc.).

En el cuadro n°3 se muestra una planilla de las empleadas en los análisis corrientes para agua, con fines de riego.

## 2. ESTUDIO DEL SUELO

Corrientemente, esta fase del programa se apoya en estudios preliminares ya existentes en materia de suelo, tales como el estudio edafológico integral aplicable hasta nivel de serie generalmente, la clasificación de los suelos por aptitud de uso para riego, etc., que aportan las Direcciones de Agrología, Edafología, etc.

Cabe enfatizar entonces sobre los siguientes elementos básicos para el planteo de optimización:









2.1. Grupo de suelo dentro de las tres o cinco grandes divisiones para el riego:

- 2.1.1. Suelos o arenosos
- 2.1.2. Francos o medianos
- 2.1.3. Arcillosos o compactos.

Base de diferenciación: capacidad de almacenamiento de humedad útil, clasificación por textura y drenabilidad.

El Cuadro nº4 considera a modo de ejemplo una agrupación tipo de los suelos, a los fines del riego, con los grandes grupos, características textuales y sus límites de borde en cuanto hace a capacidad de almacenamiento de humedad útil, infiltración básica y drenabilidad, para casos generales.

2.2. Parámetros de situación a los efectos de la caracterización de la lámina y del intervalo de riego. Base: constantes hídricas ( $W_c$  y  $W_m$ ), densidad aparente ( $d_a$ ), infiltración para diseño ( $I_b$  y/o  $I_m$ ) y otros elementos tales como tiempo de avance o mojado ( $t_m$ ); en una segunda fase típicamente de diseño.

Un planillado sumario para el factor suelo se muestra en los Cuadros nº 5 y 6

3. EXPLORACIONES O CULTIVOS

Este ítem del programa comprende la definición y evaluación de los cultivos explotados y / o recomendados en el área o distrito, en función del censo permanente, de su actualización mediante la encuesta agrícola periódica o, del plan de colonización establecido. Analizando, puede considerarse:

3.1. Selección definitiva para el periodo considerado, de las explotaciones o cultivos que gravitarán en el área Ubicación y desarrollo de cada cultivo en función del tiempo: gráfica de "meses/cultivo".

La ubicación de los cultivos y su gráfica de desarrollo, a los fines de su relación con el periodo de riego, aclara el panorama del operador y le permite objetivizar mejor la disponibilidad del recurso hídrico según el planteo de necesidades por cultivo. El Cuadro nº7 aclara este concepto.



**- AGRUPACION GENERAL DE LOS SUELOS A LOS FINES DEL RIEGO -**

**- Por Textura -**

**1. - SUELOS LIVIANOS - Arenosos-sueltos**

Comprende los :

- . Arenosos
- . Arenos-francos
- . Areno-franco-limosos
- . Areno-arcilloso-sueltos

**2. - SUELOS MEDIANOS - Francos-Migajonas**

Comprende los :

- . Francos
- . Franco-arenosos
- . Franco-arcillo-arenosos
- . Areno-arcillos-finos
- . Arcillo-arenoso-francos

**3. - SUELOS PESADOS - Arcillosos-Compactos**

Comprende los :

- . Franco-arcilloso-compactos
- . Franco-arcillosos a arcillosos
- . Arcillo-arenoso-compactos
- . Franco-limosos
- . Arcillo-limosos
- . Arcillosos

**-CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS DIFERENTES GRUPOS-**

	<u>Walm (mm/dm)</u>	<u>lb (mm/hr)</u>	<u>Drenabilidad</u>
SUELOS LIVIANOS	6 - 8	20 - 40	alta
SUELOS MEDIANOS	12 - 14	12 - 18	mediana
SUELOS PESADOS	18 - 20	4 - 8	restinguida.







DISTRITO : \_\_\_\_\_ SUB-DISTRITO : \_\_\_\_\_

SECTOR : \_\_\_\_\_ SUB-SECTOR : \_\_\_\_\_

GRUPO : \_\_\_\_\_

CARACTERIZACION POR TEXTURA	SUPERFICIE DENTRO DEL GRUPO HA.	PORCIENTO %	CAPAC. DE ALMACEN. HO CALCUL. O ASUMIDA mm/dm	GRADO DE PROFUND.	OBS.









3.2. Célula o porcentual de cultivos y su proyección en el área-distrito, b́ase para el posterior análisis de las necesidades para riego.

3.3. Cálculo preliminar a modo de planteo del uso consuntivo y Requerimiento de riego de cada explotación y del porcentual, por el procedimiento base que se haya seleccionado para esta etapa.

Para el método base de Blaney y Criddle ajustado, adoptado para el cálculo de uso consuntivo y requerimiento de riego a nivel de parcela, puede ajustarse el desarrollo según la metodología ya considerada y expuesta.

3.4. Análisis de la eficiencia a nivel de parcela, es decir de aplicación o de uso consuntivo. Su proyección en el cálculo (Lámina bruta). Relación de tiempos de riego:  $T_i$  vs.  $t_m$ , son todos parámetros importantes.

3.5. Ajuste de la necesidad mensual de riego, apelando al procedimiento edafológico de cálculo de lámina e intervalos: incidencia del cultivo, suelo, eficiencia, lámina mínima, evaporación y evapotranspiración real.

A fin de proceder en forma ordenada en el cálculo de lámina e intervalo de riego según el procedimiento edafológico y atendiendo a los factores cultivo, suelo y otros, puede adoptarse el desarrollo que plantea el Cuadro n°8.  
Con horizontes diferenciados, puede seguirse el Cuadro n°9.

#### 4. ANALISIS DE LA INFRAESTRUCTURA: RED DE RIEGO Y DRENAJE.

Este aspecto es de gran importancia porque dentro del mismo debe considerarse tanto la infraestructura del servicio de entrega -Red de Riego- como así también, lo que hace a la evacuación de excedentes superficiales, si los hay -Red de Desagues- y, paralelamente, considerar y evaluar la eficiencia de la red de Drenaje, establecida para mantener el abatimiento del manto freático dentro de los límites convenientes y evitar el deterioro progresivo de los suelos.



PLANILLA GENERAL DE CALCULO PARA LAMINA E INTERVALO DE RIEGO

CUARTO N° \_\_\_\_\_

DETRIEGO: \_\_\_\_\_

SECTOR: \_\_\_\_\_

CULTIVO: \_\_\_\_\_

Datos Básicos Cultivo	Grupo de Suelo (Cap. almac. humedad útil) (mm/dm)	Profundidad considerada de mojado (dm)	Lámina neta total (mm)	Lámina neta real (0,5-0,6 Lámina n. (mm)	Eficiencia Asu- mida. Ef.	Lámina Bruta a nivel de parc. (mm)	Evaporación Estacional Media (mm/día)	Valor re- lativo del Coefic. K	Evapotrans- piración época (MM/día)	Intervalo de riego calculado (días)	Intervalo de riego asumido P. Turnado (días)
							Verano Otoño-Prim. Invierno				
							Verano Otoño-Prim. Invierno				
							Verano Otoño-Prim. Invierno				









Consideramos entonces:

- 4.1. Red de riego: estado, situación, eficiencia de servicio. Dimensionamiento con relación al mes "pico" en la dotación o coeficiente de riego. Croquizado de la red.
- 4.2. Red de desagües: necesidad, relación con los sistemas de riego. Eficiencia en función de la relación: Caudal evacuado/tiempo.
- 4.3. Red de drenaje: situación, densidad, eficiencia. Límite máximo de abatimiento (función de  $y_0$ ). Características del drenaje zonal.
- 4.4. Plan piloto del distrito para el revestimiento progresivo de los canales de riego.

## 5. OPERACION DE RIEGO A AMBOS NIVELES.

Constituye este un item fundamental en el programa de ordenamiento y optimización; cabe aceptar como premisa que una correcta operación de riego asegura el éxito de la técnica agrícola de regadío seleccionada y es el resultado final a que concurren todos los parámetros analizados y las pautas logradas. Se debe tener en cuenta primordialmente, dos aspectos:

### 5.1. OPERACION DE RIEGO A NIVEL DE DISTRITO.

Significa en sí el punto de partida real para la puesta en marcha de esta correcta operación. Se apoya en la denominada Curva de Demanda que es el requerimiento generalizado (demanda bruta) del área cultivada, la cual será suplida por el recurso hídrico a través de las autoridades encargadas de la distribución del agua. Se considerará: lámina requerida por cultivo, volúmen, demanda neta, eficiencia de conducción y distribución, demanda bruta por área o sección, etc.

Básicamente tenemos:

- 5.1.1. Planteo de la Demanda Bruta - a nivel de toma de Distrito- en volúmenes/tiempo: m<sup>3</sup>/mes.
- 5.1.2. Planteo de la Demanda Bruta en caudal continuo (Qi) de entrega a nivel de toma de Distrito: m<sup>3</sup>/seg.
- 5.1.3. Planteo de la Demanda Bruta en lo que se hace a la relación: "caudal/superficie" o coeficiente de riego. Dotación expresada en: lt/seg.Ha.
- 5.1.4. Implementación y análisis de la Demanda: planillado y graficado. Croquis de canal, secundario, rama, etc,etc. Análisis del movimiento anual a nivel de compuerta-toma de distrito. Alícuotas por canal o rama. Posibilidad de aplicación de partidores automáticos en función de la relación constante de superficies servidas. Relación: cultivo permanente/cultivos temporarios. El desarrollo de las Curvas de Demanda puede implementarse a través de las planillas que componen los Cuadros n<sup>o</sup>10 y n<sup>o</sup>11 que se agrega adjunto. La expresión gráfica de un juego de curvas se muestra en el Cuadro n<sup>o</sup>12.
- 5.1.5. Para cauces regulados, esta demanda bruta expresada en volúmenes periódicos, interviene como parámetro de desembalse en la operación de la estructura.
- 5.1.6. Programación para el manejo y entrega de agua: debe tenerse en cuenta entre otros aspectos:
  - i- condiciones presentes de fraccionamiento o parcelamiento: presencia de áreas densificadas (minifundios) y de latifundios.
  - ii- análisis de las posibilidades de entrega: agua continua, por volumen y, turnada o "en circuito".

DESARROLLO DE LA CURVA DE DEMANDA : I

CUADRO N° \_\_\_\_\_

RIO : \_\_\_\_\_

CANAL : \_\_\_\_\_

DISTRITO : \_\_\_\_\_

SUB-DISTRITO : \_\_\_\_\_

SECTOR : \_\_\_\_\_

SUB-SECTOR : \_\_\_\_\_

PERIODO : \_\_\_\_\_

CULTIVOS	Requer. en mm/mes	Requer. en m <sup>3</sup> /mes	Superf. Cultv. (Ha)	Volumen Parcial mes (m <sup>3</sup> )	Eficien- cia (%)	Otros Requeri- mientos	Volumen requerido en toma (m <sup>3</sup> )



**DESARROLLO DE LA CURVA DE DEMANDA : II**

GUADRO N° \_\_\_\_\_

RIO : \_\_\_\_\_

CANAL : \_\_\_\_\_

DISTRITO : \_\_\_\_\_

SUB-DISTRITO : \_\_\_\_\_

SECTOR : \_\_\_\_\_

SUB-SECTOR : \_\_\_\_\_

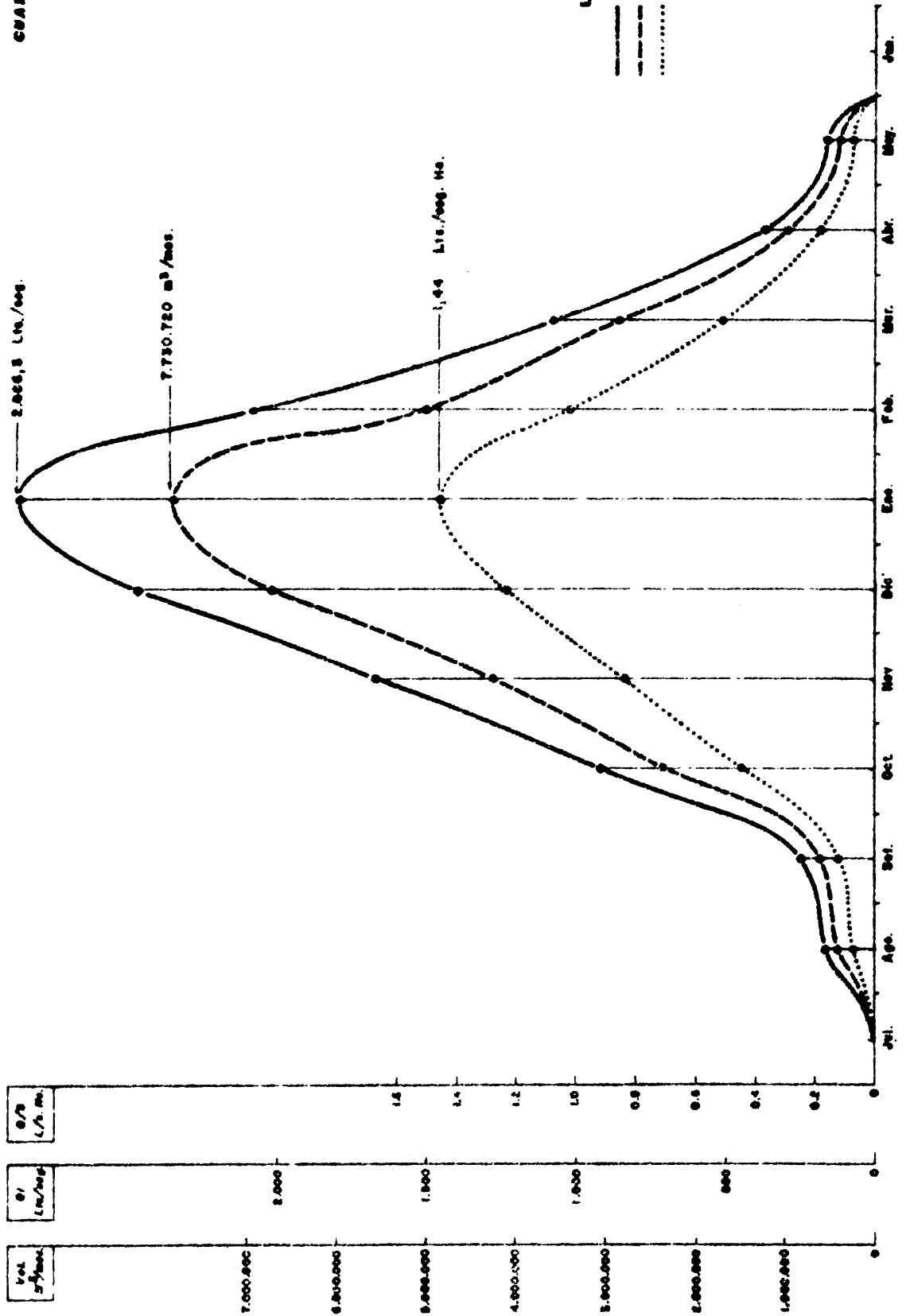
MES	Requerimiento en m <sup>3</sup> /mes	Factor seg/mes	Caudal continuo (m <sup>3</sup> /seg.)	Dotación Rel : Q/Sup. (Lt/s . Ha.)
Enero				
Febrero				
Marzo				
Abril				
Mayo				
Junio				
Julio				
Agosto				
Setiembre				
Octubre				
Noviembre				
Diciembre				
AÑO				



# CURVA DE DEMANDA MULTIPLE

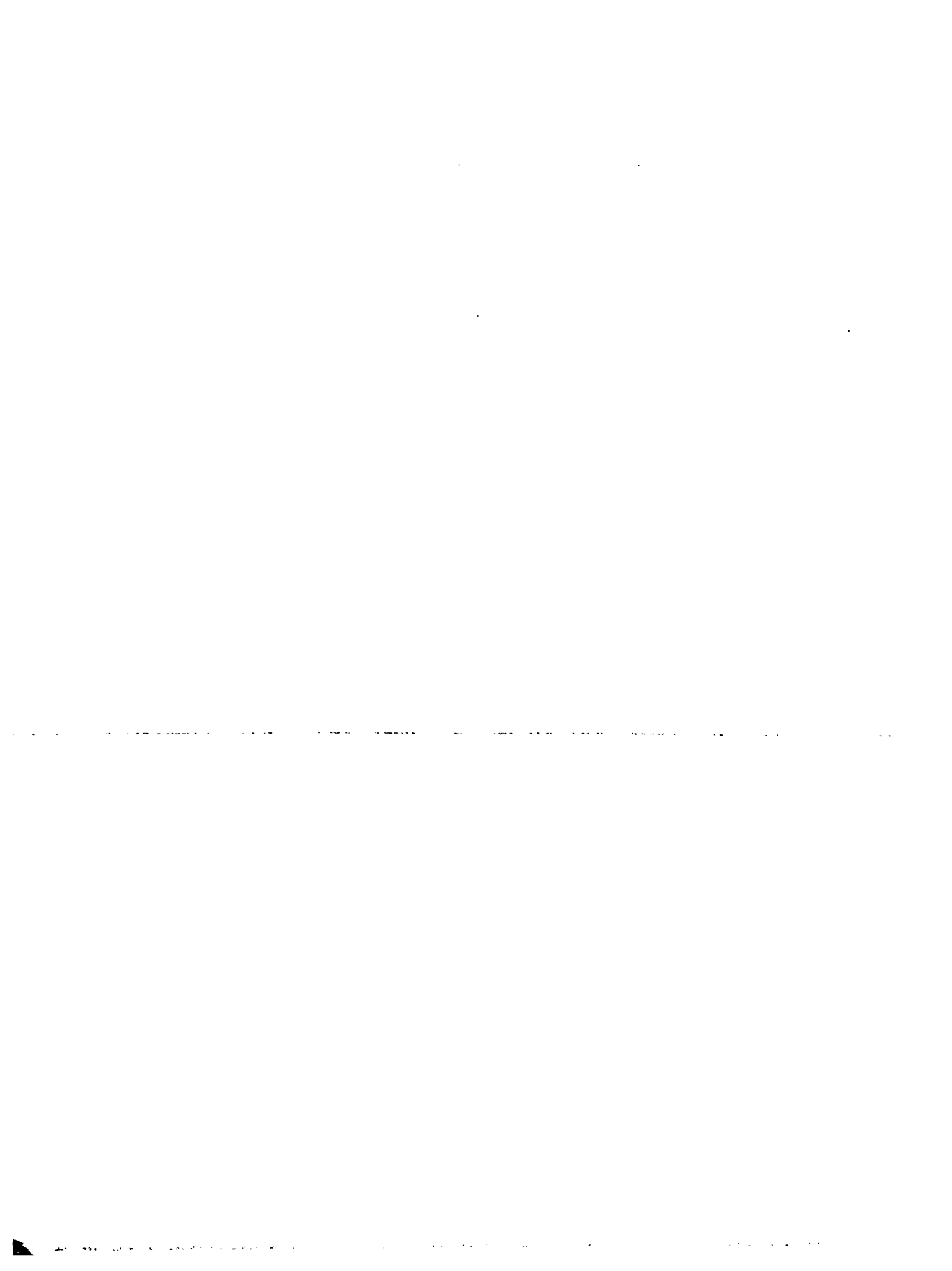
DISTRITO: \_\_\_\_\_ SUB DISTRITO: \_\_\_\_\_  
 SECTOR: \_\_\_\_\_ CANAL: \_\_\_\_\_

CUADRO N° 1



### LEYENDA

- VOLUMENES MENSUALES
- - - CAUDAL CONTINUO REGULADO
- ..... OPTACION: REGULACION MUAL - DOPPERICE





CUADRO DE SEGUNDOS/ MES PARA APLICACION DE  
CALCULO DE CAUDAL CONTINUO Y DOTACIONES.

M E S	S E G U N D O S D E L M E S
ENERO	2.678.400
FEBRERO	2.419.200
MARZO	2.678.400
ABRIL	2.592.000
MAYO	2.678.400
JUNIO	2.592.000
JULIO	2.678.400
AGOSTO	2.678.400
SETIEMBRE	2.592.000
OCTUBRE	2.678.400
NOVIEMBRE	2.592.000
DICIEMBRE	2.678.400



- iii- posibilidades de división del distrito en "secciones" de riego; relación con la infraestructura y el caudal continuo disponible. Influencia sobre el caudal de manejo.
- iv- parámetros para la entrega del agua por turnado: Intervalo y tiempo de turnado-Tiempo de riego y tiempo de demoras - Tiempo unitario de riego- Volúmen unitario de riego- Fluctuaciones de la alícuota del caudal en función de la curva de demanda.
- v- diagramación de riego a nivel de distrito: planillado por ramas de propiedades, áreas, tiempos de riego y demora, etc. Posibilidades de operación y cálculo, por modelos computacionales en áreas densificadas.

## 5.2. OPERACION A NIVEL DE PARCELA O DE REGANTE

Complementa el aspecto anterior y se le asigna cada vez mayor importancia para el logro del éxito en la operación total.

Considera entre otros aspectos:

- 5.2.1. Manejo de los programas periódicos de cultivos: explotaciones permanentes y cultivos anuales.
- 5.2.2. Manejo de los parámetros de diseño surgidos de los ensayos de infiltración y demás: pautas para sistemas de riego por bordos (tamaño de las amelgas), por surcos (longitud y pendientes de los surcos); relación:suelos-infiltración tipo; relación de los tiempos de riego (tiempo de infiltración y tiempo de mojado) con la eficiencia de aplicación o manejo. Relación caudal de manejo y "plano de agua".

- 5.2.3. Sistema de asistencia técnica en materia de riego.
- 5.2.4. Adaptación del turnado interno de la propiedad en razón del turno y caudal variable: relación turno/riego.
- 5.2.5. Asimilación de la propiedad al sistema de entrega por turnado: manejo del agua turnada por el sistema de tomeros. Planilla de turnos: por rama y por propiedad para el regante. Tipo de turno: rotación día-hora.

6. ANALISIS DE OPERACION Y EFICIENCIA

- 6.1. A nivel de Distrito de Riego.
- 6.2. A nivel de Parcela o Regante.
- 6.3. Conclusiones y Recomendaciones anuales.

-----

BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA



**BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA**

1. THORNTWAITE, C.W. The climates of Northamerica according to a new classification. The Geographical review(33-55) (1931)
  - El agua en la agricultura."Irrigación en México", 27(2)-19-43 Mex.(1946)
  - An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 28(1)-55,94-USA.
2. BURGOS, J.J. y VIDAL, A.L. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. Año 1, Nº1 Buenos Aires, Argentina(1951)
3. GRASSI, CARLOS. Estimación de los usos Consuntivos de Agua y Recuerdo de Riego con fines de Formulación y Diseño de Proyectos. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida-Venezuela, enero(1968).Lima-Perú(1972).
4. SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS DE MEXICO  
Metodología para la determinación y Cálculo del Uso Consuntivo del Agua  
Memorandum Técnico Nº290 (1963)
5. CHANG-NAVARRO, L y ARTURO CORNEJO T.  
Funciones de producción del agua de Riego de los principales cultivos de la Costa Peruana. Publicado por el Instituto para el desarrollo de los Recursos de Agua y Tierras de la Fundación para el Desarrollo Nacional, Año II Nº5 Lima-Perú(1972).
6. ROMANELLA, CARLOS A. Dotaciones de Riego Calculadas para el Rio Mendoza.  
Dep. Gal de Irrigación, Memoria Mendoza(1960).

7. LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A. and PAULHUS, J.L. Hydrologie for engineers.  
Mc Graw-Hill Book and Company, Inc  
New York, USA (1958).
8. LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A. and PAULHUS, J.L. Applied hydrology.  
Mc Graw-Hill, New York, USA (1949).
9. U.S.D.I. Bureau of Reclamation. Diseño de pesas pequeñas. Trad de "desing of small dams". Comp. Efit. Continental, México (1966).
10. SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS-DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA  
Relación entre Suelo-Planta-Agua.  
Editora Diana. 1era. Edición-Secc. 15-Colcc. Ingenieria de Suelos. México (1972).
11. U.S.D.A., S.C.S. Nat. Engin. Handbook. Hydrology guide for use in watershed planning, USA (1968).
12. LUQUE, J.A. Agricultura Bajo Riego.  
Edit. Riagro. Buenos Aires. Argentina (1956).
13. LUQUE, J.A. Aplicación del método de Blanney y Criddle Ajustado para la Determinación del Uso Consuntivo, Lámina Neta y Requerimiento de Riego en el País.  
Revista IDIA, Nº 266, pags. 61-69. INTA. Buenos Aires, Argentina (1969).
14. LUQUE, J.A. Necesidades de agua y bases para la determinación del Uso Consuntivo en Pedro Luro.  
Public. del Inst. de Edafología e Hidrología de la U.N.S.-Nº 7-Bahía Blanca (1965).



15. LUQUE, J.A. Caracterización del Rio Colorado con fines de Riego C.E.C.I.R.N.A., UNS.Bol.Nº1-Bahía Blanca-Argentina(1967).
16. LUQUE, J.A. y PEINEMANN, N. Propiedades Hídricas del Suelo del Valle Bonaerense del Rio Colorado. INT/IDIA. Vol.5, Nº2, Serie "Clima y Suelo". Buenos Aires. Argentina(1968).
17. LUQUE, J.A. Uso Consuntivo en Explotaciones del Valle Bonaerense del Rio Colorado. Public.del Inst.de Edafología e Hidrología de la U.N.S. Nº8. Bahía Blanca-Argentina(1966).
18. LUQUE, J.A. Procedimientos para el Cálculo de Láminas de Riego Guía de Riego. Public.del Dpto. de Ingenieria. UNS. Nº1. Bahía Blanca Argentina(1967).
19. LUQUE, J.A. y PAOLONI, J.D. Estudio de las Dotaciones de Riego y Demanda de Agua para el Valle Inferior del Rio Colorado. Public.Técnico CORFO-Pedro Luro. Argentina(1969).
20. LUQUE, J.A. Técnicas de Programación y Análisis de Ingenieria Ediciones. Riagro. Bahía Blanca. Argentina(1969).
21. LUQUE, J.A. GUTIERREZ, A.U. y PAOLONI, J.D. Requerimiento de Agua y Uso Consuntivo en Explotaciones de la Provincia de Rio Negro. Public.Tecn.de la Subsecretaria de Asuntos Agrarios de la Pcia. de Rio Negro. Vidma. Argentina(1970/).
22. LUQUE, J.A. y PAOLONI, J.D. Manual de Operación de Riego Edit. Riagro. Buenos Aires-Argentina(1972).

23. LINSLEY, R.K. and FRANZINI, J.B. Water Resources Engineering  
Mc Graw, New York, USA (1964).
24. PALACIOS VELEZ, E. Cuanto, Cuando y Como Regar  
Mem. Tec. Nº 195-S.R.H. México (1963).
25. ISRAEISEN, O.M. and HANSEN, V.E. Principios y aplicaciones del Riego  
Edit. Reverté. S.A. 2da. Edición, México (1965).
26. POIRÉE, M. et OLLIER. El Regadío  
Edit. Técnicos Asociados S.A. Barcelona, España  
(1965).
27. CRIDDLE, W.D. Consumptive Use of Water and Irrigation Requirements  
Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 8 Nº 5  
Sept. USA (1953).
28. SHOCKLEY, D.R. Capacity of Soil to Hold Moisture  
Agricultural Engineering, Vol. 35 Nº 2, feb. USA  
(1955).
29. EARTH MANUAL, Bureau of Reclamation-USDI. Denver, Col. USA (1963).
30. SOIL CONSERVATION SERVICE-USDA. Instructions and Criteria for  
Preparation of Irrigation Guides. Oregon, USDA  
USA (1957).
31. ROSELL, R., LUQUE, J.A. y CARLSON, R. Informe sobre el Valle Inferior  
del Rio Colorado.  
Public. del Inst. de Edaf. e Hidrología U.S.S. Nº 5  
Bahía Blanca, Argentina (1964).
32. de T de S. FOULC. El Riego por Aspersión  
Edit. Técnicos Asociados S.A. Barcelona, España  
(1963).

33. **TOPOLANSKI, E.M.** Arroz y Riego  
Int.Nac. Colonización.Montevideo, Uruguay(1956).
34. **ESPINOSA VICENTE, E.** Los Distritos de Riego  
Comp.Edit.Continental S.A.México(1962).
35. **HAGAN, R.N. HAISE H. and EDMINSTER, T.** Irrigation of Agricultural Land.  
Amer.Soc.Agronomy, Nº11, Serie Agronomy
36. **MINISTERIO DE AGRICULTURA INSTITUTO DE REFORMA Y PROMOCION AGRARIA, SERVICIO DE INVESTIGACION Y PROMOCION AGRARIA.**  
Situación Agro-Económica del Departamento de Moquegua.  
Oficina de Estudios Socio-Agro-Económicos-Lima(1964).
37. **VIDALOM ENGINEERING SERVICES, S.A.S**  
Proyecto de irrigación de las Pampas de la Clemesi Rios Tambo y Nonuegua.Reconocimiento General de las Tierras.  
República del Perú-Ministerio de Fomento y Obras Públicas.  
Dirección de Irrigación.
38. **UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF.** Agricultura Handbook Nº60  
Diagnosis and Improvement od Saline and Alkali Soils.  
USDA(1954).
39. **RICHARDS, L.A.** Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos.  
y Sódicos, Manual de Agricultura Nº60, Secretaría.  
de Agricultura y Ganadería, México(1962).
40. **THORNE, D.W. y PETERSON, H.B.** Técnica del Riego.  
Comp.Edit.Continental S.A.México(1969).



IICA  
PM-117

Autor

Título

Fecha  
Devolución

2 JUL 1984

*plumbeo*  
CURSOS SOBRE OPERACION  
CONSERVACION Y DESARRO-  
LLO DE SISTEMAS DE  
RIEGO

Nombre del solicitante

*J. Main*

DOCUMENTO  
MICROFILMADO

Fecha:  - NOV. 1988

